

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji

Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools

Student:

Martin Bilík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Bilík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji**
Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inženýrstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

Bilík

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20.5. 2013

podpis... 

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Bilík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vážany 133, 687 37

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BILÍK, Martin. *Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 50 s. Vedoucí práce: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou vlivu řezných podmínek na teplotu soustružení inteligentním břitvým nástrojem. Inteligentní nástroj je vyměnitelná břitvá destička z řezné keramiky, na kterou je nanесena odporová vrstva. Dále je rozebrána metoda měření teploty řezání při soustružení, postup a popis měření. Následuje zakreslení do grafů, vyhodnocení experimentu a závěr.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BILÍK, Martin. *Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 50 p. Thesis head: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

This bachelor thesis behind-go to with problems influence cutting conditions on temperature turning with intelligent tools. The intelligent tool is cutting insert sof cutting ceramics, on which is applied the resistive layer. Further there is described enumeration method temperature measuring of cutting when turning, process measurement and description. Succeed staging results into graphs, evaluation of the experiment and conclusion.

Obsah:

1.1.	Úvod	- 5 -
1.2.	VZNIK TEPLA.....	- 6 -
1.2.1.	Teplotní pole při obrábění.....	- 6 -
1.2.2.	Tepelná Bilance	- 9 -
1.3.	BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLoty	- 10 -
1.3.1.	Základy bezdotykového měření.....	- 10 -
1.3.2.	Emisivita měrného objektu a absolutní černé těleso	- 11 -
1.3.3.	Vliv atmosféry na bezdotykové měření	- 12 -
1.3.4.	Výhody a nevýhody bezdotykového měření	- 13 -
1.4.	PYROMETRY.....	- 14 -
1.4.1.	Objektivní pyrometry	- 15 -
1.4.1.1.	Pásmové pyrometry	- 16 -
1.4.1.2.	Monochromatické pyrometry	- 16 -
1.4.1.3.	Poměrové pyrometry	- 17 -
1.4.1.4.	Radiační pyrometry	- 18 -
1.4.2.	Subjektivní pyrometry	- 19 -
1.4.2.1.	Jasové pyrometry.....	- 19 -
1.4.2.2.	Barvové pyrometry.....	- 19 -
1.5.	ŘEZNÁ KERAMIKA.....	- 20 -
1.5.1.	Výroba řezné keramiky.....	- 20 -
1.5.2.	Druhy a značení ŘK	- 22 -
1.5.3.	Použití keramických nástrojů	- 23 -
1.5.4.	Provedení keramických nástrojů	- 23 -
2.1.	VLASTNÍ EXPERIMENT.....	- 24 -
2.1.1.	Stroj	- 24 -
2.1.2.	Pyrometr.....	- 25 -
2.1.3.	Zařízení pro záznam naměřených hodnot	- 28 -

2.1.4.	Kalibrace pyrometru AMIR 7838-21	- 28 -
2.1.5.	Nožový držák CERAMDEX.....	- 30 -
2.1.6.	Řezný nástroj	- 31 -
2.1.7.	Materiál.....	- 32 -
3.1	Zpracování a vyhodnocení experimentu	- 33 -
3.1.1.	Vyhodnocení závislosti teploty na čase	- 33 -
3.1.2.	Stanovení statické rovnice teploty řezání.....	- 39 -
4.1	ZÁVĚR.....	- 43 -

Seznam použitých značek

A_p	Hloubka řezu	[mm]
V_c	Řezná rychlost	[m/min]
f	Posuv	[mm]
n	Otáčky	[ot/min]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
Q	Celkové teplo	[J]
Q_{tr}	Teplo odcházející do třísky	[J]
Q_o	Teplo odcházející do obrobku	[J]
Q_n	Teplo odcházející do nástroje	[J]
Q_{pr}	Teplo odcházející do prostředí	[J]
F_c	Řezná složka síly obrábění	[N]
t	Čas	[min]
ε	Emisivita	[-]
C	Uhlík	[-]
Mn	Mangan	[-]
Θ	Teplota řezání	[°C]
C_Θ	Teplotní konstanta	[-]

1.1. Úvod

Modernizace výroby a zavádění nových technologií klade vysoké nároky nejen na stroje používané v procesu obrábění, ale i na nástroje s břitovými destičkami. Pro hromadnou a velkosériovou výrobu se dnes pro svou efektivnost a odolnost ve srovnání se slinutými karbidy stále více používají břitové destičky z řezné keramiky.

Pro dosažení požadované drsnosti výrobku a jeho rozměrové i geometrické přesnosti, je maximální využití vyměnitelné břitové destičky jedním z hlavních faktorů ovlivňující ekonomičnost výroby. Abychom dosáhli všech požadovaných vlastností, musí být zjištěna maximální trvanlivost vyměnitelné břitové destičky. I když břitová destička ještě nedosáhla maximálního dovoleného opotřebení, dochází v mnoha případech k předčasné výměně řezné hrany a tím i ke zvýšení nákladů na výrobu. V dnešní době existuje mnoho způsobů jak zkontrolovat opotřebení na řezné hraně, ale žádná to nedokáže v době řezu.

Námi použitá břitová destička Kyocera KS-6000 na kterou je nanášena odporová vrstva, nám umožňuje změřit řeznou hranu přímo v řezu, kdy okamžitě zjistíme, zda došlo k maximálnímu dovolenému opotřebení a jestli je nutná výměna. Tato metoda je velmi jednoduchá a nenáročná.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením teploty na řezné hraně nástroje při soustružení inteligentním břitovým nástrojem. Dále pak problematikou vlivu řezných podmínek na teplotu soustružení. Rozsáhlejší experiment soustružení inteligentním břitovým nástrojem se skládal z více dílčích částí, jako jsou měření opotřebení, odporu a měření vibrací stroje během soustružení. Ty však již nebyly v rozsahu mé bakalářské práce.

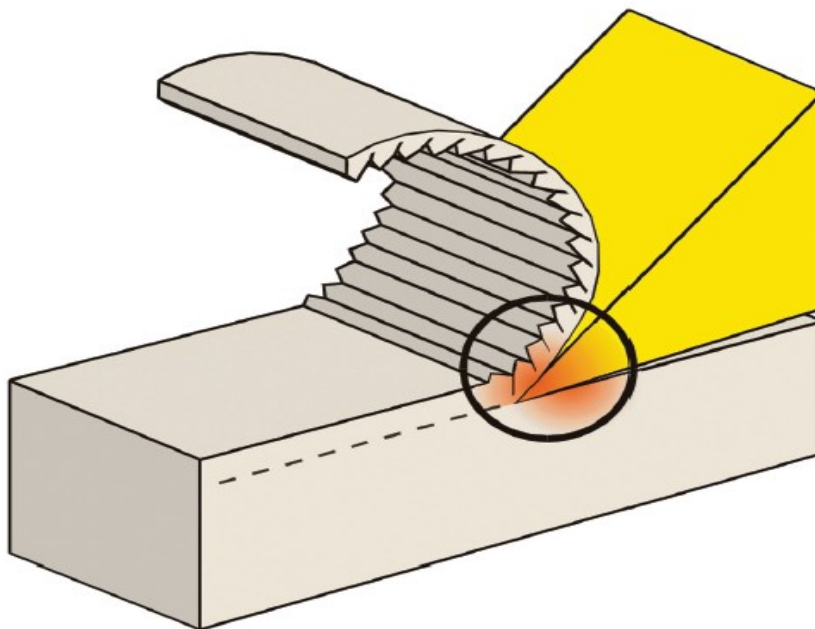
1.2. VZNIK TEPLA

Většina vynaložené práce při řezání a odebírání třísky se mění v teplo. A to je příčina vzniku vysoké teploty ve velmi malé oblasti břitu nástroje, která má nepříznivý vliv na řezné vlastnosti nástroje (dochází k jeho otupování), mění mechanické vlastnosti obráběného materiálu a přesnost obráběné plochy.

Dále je teplota řezání jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících proces řezání a má vliv na všechny parametry řezání. Závisí na ní možnosti a vhodnost použití různých řezných rychlostí, posuvu, hloubky řezu a také ovlivňuje trvanlivost nástroje. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že teplota nepřímo, ale zásadě ovlivňuje produktivitu a ekonomičnost výroby. [1]

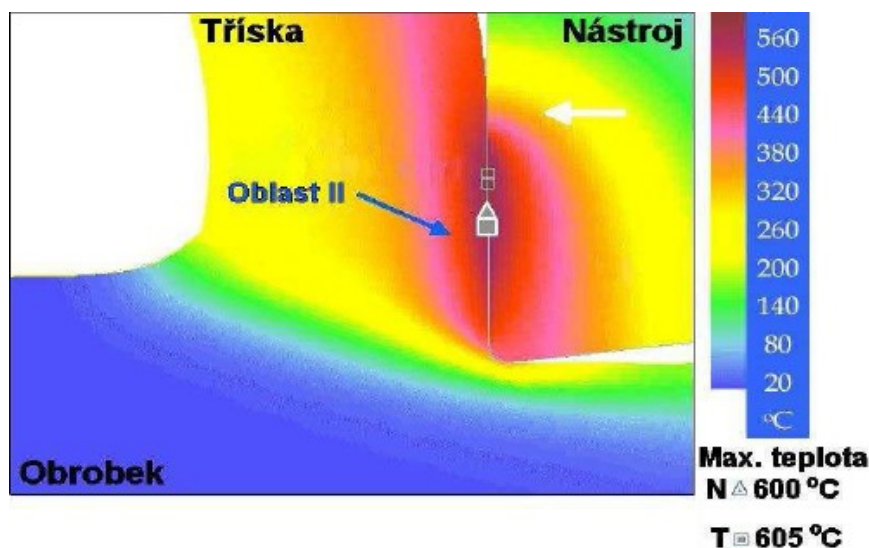
1.2.1. Teplotní pole při obrábění

Teplotním polem rozumíme rozložení teplot v třísce, nástroji a obrobku v průběhu řezání. (Viz. obr. 1.1) Teplotní pole je v průběhu řezání neracionelní. Ustálí se teprve za nějaký čas od začátku řezání (2 až 15 minut). Teoreticky je teplotní pole souhrnem teplot sledovaného prostoru v určitém okamžiku. [7]



Obr. 1.1 Teplotní pole a teplota v technologii obrábění kovů [28]

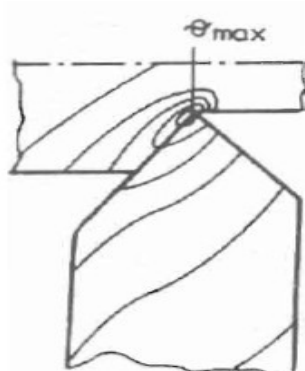
Obrábění kovů je proces, kdy je materiál deformován tak silně, až se odděluje ve formě třísek. Při tomto procesu vzniká velké množství tepla. Většina tohoto tepla se tvoří v oblasti stříhu, méně tepla je pak vytvořeno třením mezi třískami, řeznou hranou a obrobkem. Toto teplo následně způsobuje zvýšení teplot v oblasti řezu (nástroje, obrobku a třísek). (Obr. 1.2) [28]



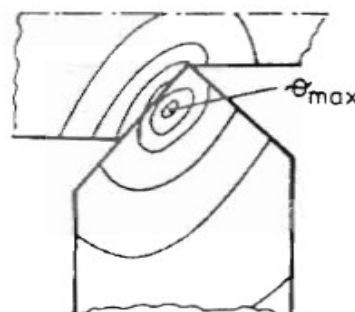
Obr. 1.2 Teplotní pole při řezání [3]

Teplo se hromadí v oblasti řezu, a pokud teplota vzroste příliš, může dojít ke zhoršení vlastností řezné hrany (zkrácení životnosti nástroje) a ke změně struktury materiálu obrobku.

Jeden z faktorů ovlivňující teplo v oblasti řezu je při obrábění nízkými řeznými rychlostmi (Viz obr. 1.3), kde je maximální teplota na ostří – při soustružení na špičce nože. Při obrábění za vyšších řezných rychlostí (Obr. 1.4) je maximální teplota v určité vzdálenosti od ostří. [2]

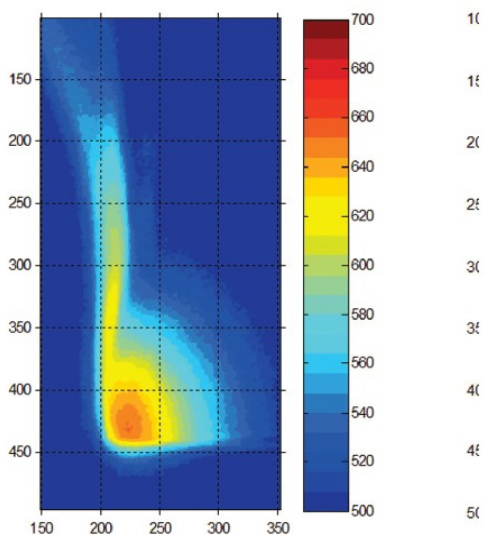


Obr. 1.3 Teplotní pole při obrábění nízkou řeznou rychlostí [2]

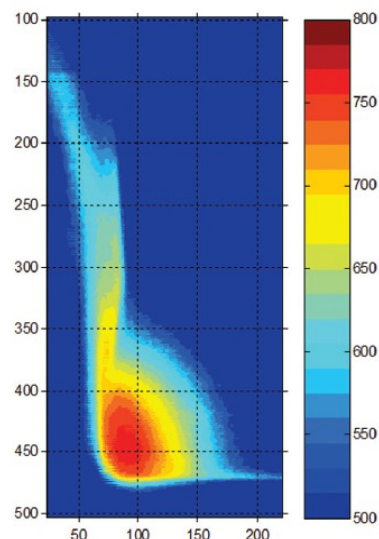


Obr. 1.4 Teplotní pole při obrábění vysokou řeznou rychlostí [2]

Tvrdot materiálu obrobku je dalším důležitým faktorem. Tvrďší materiál obrobku více odolává deformacím a během obrábění tak vzniká více tepla, což následně způsobuje vyšší teploty na řezné hraně (obr 1.6). Aby se tento jev vyvážil je potřeba snížit řeznou rychlost, viz. Obr 1.5 [24]



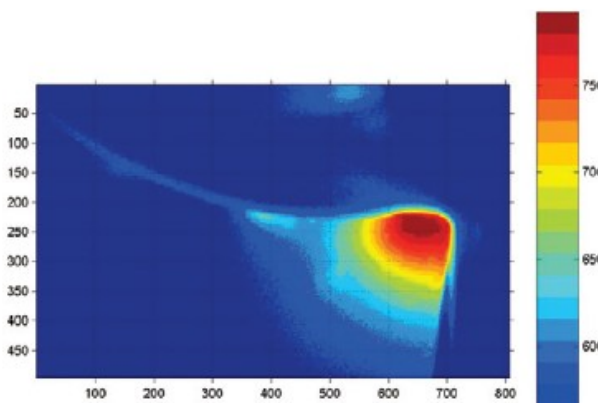
Obr. 1.5 Měkčí materiál [24]



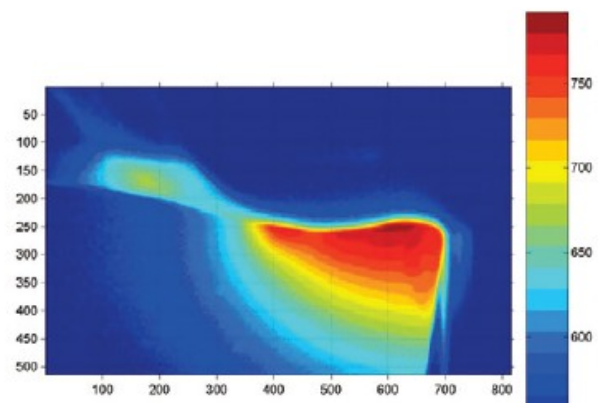
Obr. 1.6 Tvrďší materiál [24]

Nejefektivnější způsob odvodu tepla z oblasti řezu je třískami. Pokud je ale tepelná vodivost materiálu obrobku nízká, odvod tepla třískami je obtížnější. Více tepla se přenáší do řezné hrany, což snižuje životnost nástroje. Čím nižší je tepelná vodivost, tím více tepla zůstává v řezné zóně a zvyšuje se teplota v řezu.[2]

Na obrázku 1.8 vidíme, že vyšší posuvy mohou také zlepšit únik tepla. Protože vyššími posuvy vznikají silnější třísky (větší objem materiálu = efektivnější odvod tepla). Vyšší posuvy způsobují větší tepelně ovlivněnou oblast, ale nižší teploty u řezné hrany. Obecně to znamená delší životnost nástroje. [24]



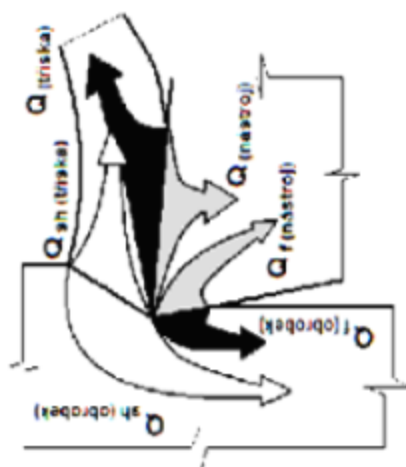
Obr. 1.7 Nižší posuv [24]



Obr. 1.8 Vyšší posuv [24]

1.2.2. Tepelná Bilance

Vzniklé teplo Q se odvádí do jednotlivých prvků: (Obr. 1.9)



Q_{tr} – teplo odcházející do třísky

Q_o – teplo odcházející do obrobku

Q_n – teplo odcházející do nástroje

Q_{pr} – teplo odcházející do prostředí

Obr. 1.9 Rozklad teplot v řezu

Vznik třísky při obrábění a její odvod z místa řezu je doprovázen vznikem určitého množství tepla. Ke vzniku tepla dochází transformací vynaložené práce. V teplo se přeměňuje veškerá práce vynaložená na proces řezání s výjimkou práce pružných deformací a práce utajené. Podíl těchto dvou složek na celkové vynakládané práci je poměrně malý a nepřesahuje 5%. Ve většině případů (vysoká tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek, velmi intenzivní deformace odřezávané vrstvy) představují práce pružných deformací a práce utajená (spotřebovaná na deformaci mřížky a vytvoření nových povrchů) maximálně 2% celkové práce řezání. Zbytek, tj. minimálně 98%, se transformuje v teplo. Proto lze celkové množství tepla Q_c vznikající za sekundu při obrábění vypočítat bez velkých chyb z výrazu (1): [1]

$$Q = F_c \cdot V_c \cdot t \quad (J) \quad (1)$$

Q - celkové teplo [J]

F_c – řezná složka síly obrábění [N]

V_c – řezná rychlost [$m \cdot min^{-1}$]

t – čas obrábění [min]

Tepelná bilance představuje jednu z forem bilance energie, která vypovídá o tom, že v daném místě a daném časovém úseku je množství odvedeného tepla rovno teplu do místa přivedeného.[1]

$$Q = F_c \cdot V_c = Q_o + Q_n + Q_{pr} + Q_t$$

1.3. BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLOTY

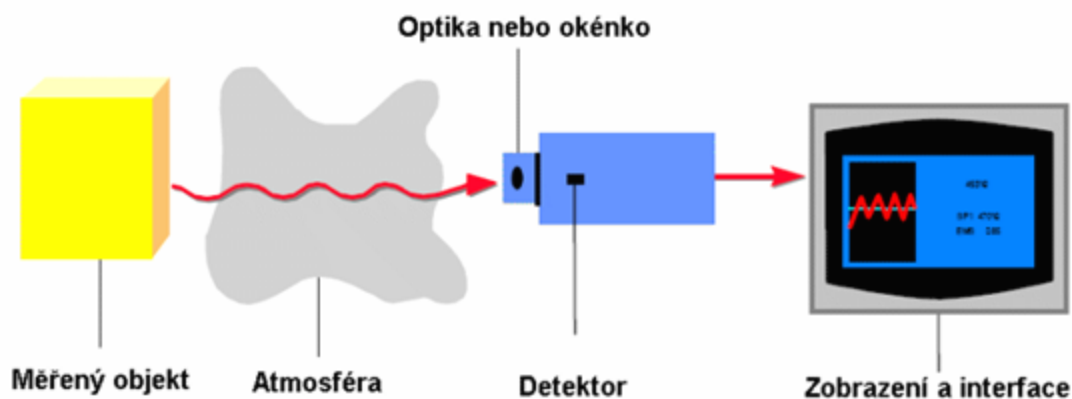
U bezdotykových teploměrů nedochází ke kontaktu měřícího zařízení s měrným objektem. Nedochází tedy k ovlivnění měření a měrného objektu. Celý proces měření je ovšem ovlivněn dalšími aspekty jako je vlhkost a prašnost prostředí, radiační záření okolního prostředí, vzdálenost mezi měřeným objektem a měřícím zařízením, emisivita měrného objektu. Je tedy nutné tyto ovlivňující vlivy odstranit pomocí zajištění korektního měřícího prostředí a správného nastavení měřícího přístroje. Bezdotykové měření povrchových teplot je rychlé a lze je použít i pro nepřístupná nebo nebezpečná místa.

1.3.1. Základy bezdotykového měření

U bezdotykového měření se využívá jedné vlastnosti, kterou disponují všechna tělesa, jejichž teplota je větší než 0 K, a to, že vysílají teplotní elektromagnetické záření. Příčinou vzniku záření je mechanický pohyb molekul, kde intenzita pohybu je závislá na teplotě objektu. Pohyb molekul představuje přemísťování náboje, je vyzařováno elektromagnetické záření. Při konstantní teplotě tělesa je nejintenzivnější teplotní záření v určité vlnové délce, podle níž lze určit teplotu povrchu tělesa. Princip je založen na měření teplotního záření a k měření se využívá zákonů tepelného záření, ke kterým patří především Planckův zákon, Wienův zákon a Stefanův-Boltzmannův zákon. Podle Planckova zákona záření platí, že čím větší je teplota tělesa, tím intenzivnější záření těleso vysílá a současně klesá vlnová délka záření. [6,8]

Schéma bezdotykového měření teplot

Vyzařované infračervené záření z měrného objektu je pomocí optického systému soustředěno na detektor, jehož elektrický signál se dále zpracovává v elektronických obvodech a výstupem je pak údaj na displeji, nebo termogram na monitoru vyhodnocovacího zařízení, (Viz. Obr.1.10). Bezdotykové měření teploty, je měření povrchové teploty těles na základě vysílaného elektromagnetického záření tělesem a přijímaného senzorem záření vlnové délky od 0,4 μ m do 25 μ m. Elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 2 μ m do 25 μ m se označuje jako tepelné záření. [9]



Obr. 1.10 Schéma bezdotykového měření teplot

1.3.2. Emisivita měrného objektu a absolutní černé těleso

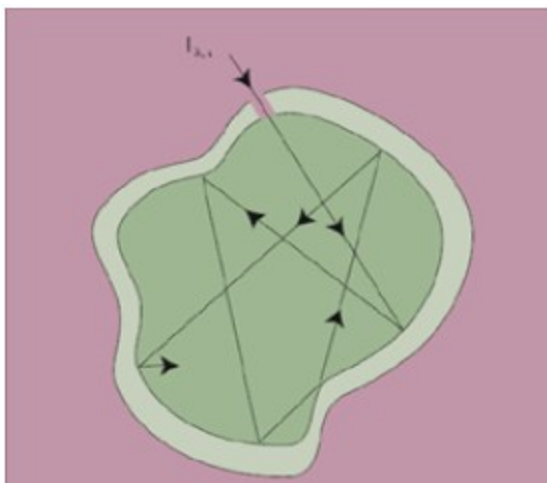
V roce 1860 definoval Kirchhoff absolutně černé těleso jako povrch, který záření neodráží ani nepropouští, ale pouze veškeré dopadající záření absorbuje. Nezávisle na jeho směru a vlnové délce. Absolutně černé těleso nejenom pohlcuje veškeré dopadající záření, ale je také dokonale vyzařujícím tělesem. Vyzařovací schopnost každého tělesa nazval Kirchhoff emisivitou povrchu daného tělesa a označil ji ϵ . Emisivita je číselně rovna poměru energií vyzařených reálným povrchem a absolutně černým tělesem, (Viz tabulka 1.1). [10]

Koncept absolutně černého tělesa je důležitý, protože ukazuje, že energie vyzařovaná absolutně černým tělesem závisí a teplotě. Při použití bezdotykového teploměru měřícího energii vyzařovanou z objektu, je třeba vzít v úvahu emisivitu. Např. Objekt s emisivitou 0,6 vyzařuje jen 60% energie ve srovnání s absolutně černým tělesem. Pokud se nezavede tato korekce, bude načtena hodnota teploty nižší, než je aktuální teplota. [10]

Tabulka 1.1: Emisivita některých materiálů

MATERIÁL	TEPLOTA °C	EMISIVITA
Voda	38	0,67
Sníh Prachový	-7	0,82
Cihla Červená, surová	21	0,93
Cement, bílý	1371	0,65
Břidlice	20	0,97
Piliny	20	0,7

Nejpřesnější aproximací absolutně černého tělesa, (viz. Obr. 1.11), je dutina s vnitřním povrchem o konstantní teplotě T_s , která komunikuje s okolím skrze malou díрку, jejíž průměr je velmi malý ve srovnání s rozměry dutiny. Většina záření vstupující dírkou do dutiny je buď ihned absorbována, nebo je povrchem dutiny odražena do dutiny, zatímco z otvoru vychází zanedbatelné množství záření.[10]



Obr. 1.11 Model černého tělesa

Abychom tedy mohli zjistit teplotu měrného reálného objektu, musíme znát emisivitu jeho povrchu, která se mění v závislosti na:

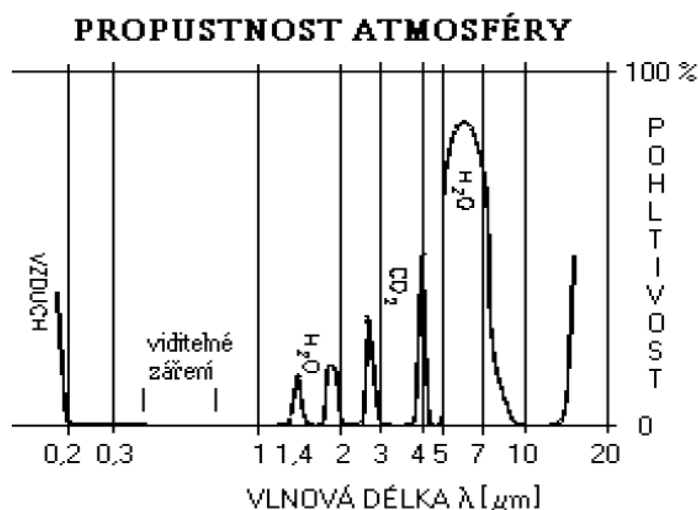
- Teplotě materiálu,
- druhu materiálu,
- opracovanosti a drsnosti povrchu,
- efektivní vlnové délce pyrometru,
- stupni oxidace povrchu materiálu.

Pokud emisivitu materiálu nenastavíme, nebo ji nastavíme nepřesně, vznikne během měření horkého povrchu chyba, která závisí na velikosti této nepřesnosti, na teplotě materiálu a na spektrálním pásmu, na němž probíhá měření. [10]

1.3.3. Vliv atmosféry na bezdotykové měření

Atmosféra mezi měřeným místem a pyrometrem může obtížně definovatelným způsobem ovlivnit měření, pokud obsahuje složky, které mohou významně absorbovat záření vycházející z měrného povrchu. Těmito složkami mohou být různé plyny, voda, vodní

pára, prach apod. (viz. obr. 1.12). Vzhledem k tomu, že koncentrace těchto komponent nebývá stálá, nedá se jejich vliv odstranit ani zahrnutím do koeficientu emisivity. Naštěstí vliv atmosféry, při nízkých koncentracích příměsí a nečistot, není v celém spektrálním oboru stejný. Spektrální pásmo pyrometru a jeho efektivní vlnová délka, bývá proto volena tak, aby měření bylo co nejméně ovlivňováno okamžitou propustností atmosféry. V opačném případě by údaj teploty indikované pyrometrem, i při správném nastavení emisivity povrchu měrného materiálu, nižší než hodnota skutečné teploty povrchu a silně by kolísal v závislosti na okamžité koncentraci CO_2 , par H_2O a jiných složek atmosféry v pracovním prostoru.



Obr. 1.12 Ovlivnění měření jednotlivými složkami atmosféry

1.3.4. Výhody a nevýhody bezdotykového měření

Výhody bezdotykového měření teploty

- Rychlost měření,
- měřicí technika neovlivní měřený objekt,
- možnost měření teploty rotujících a pohybujících se objektů,
- měření teploty nebezpečných nebo špatně dostupných objektů,
- lze měřit i velmi vysoké teploty až do 3000°C ,
- možnost měření velmi rychlých změn teploty,
- možnost měřit rozložení povrchové teploty a dále data počítačově zpracovat.

Nevýhody bezdotykového měření teploty

- Měřený objekt musí být pro infračervený teploměr opticky viditelný (vysoké úrovně prachu, nebo kouře snižují přesnost měření),
- lze měřit pouze povrchovou teplotu,
- nejistota měření způsobená neznalostí správné hodnoty emisivity povrchu tělesa, propustnosti prostředí mezi čidlem a objektem,
- nejistota měření způsobená nepřesnou korekcí odraženého záření z okolního prostředí na měrný objekt.

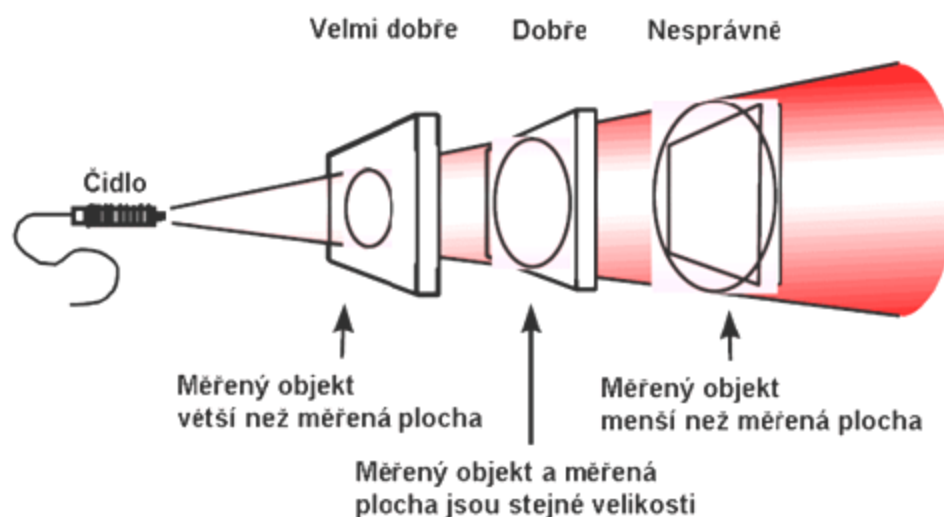
1.4. PYROMETRY

Pyrometry jsou bezdotykové teploměry, pracující a principu zpracování signálu elektromagnetického záření od měrného tělesa. Slovo pyrometr pochází z řečtiny – pyr (ohně) a metrik (měřit). Pyrometry mohou měřit teploty od -20°C do 3000°C . Postupem doby bylo vytvořeno mnoho druhů pyrometrů. Součástí pyrometru jsou detektory infračerveného záření a optický systém. Pro správné seřízení přístroje se používá zařízení na kalibraci, (viz obr. 1.13). Zařízení má přesně definovatelnou emisivitu. Je to model absolutně černého tělesa. Obvykle se jedná o kovovou dutinu, která má povrch upraven nátěrem a jehož emisivita je v rozmezí 0,98 až 0,995. Dutina je udržována na žádanou teplotu a to většinou pomocí elektrického regulátoru. Poté je pyrometr zaměřen na dutinu a kalibruje se hodnota buď emisivity, nebo výsledné teploty. Moderní přístroje mají nastavitelnou emisivitu, která se dá měnit podle fyzikálních charakteristik měrného objektu. Díky tomu se chyba měření redukuje.



Obr. 1.13 Teplotní kalibrátor BB-4A (černé těleso) [11]

Optickým systémem je nazýváno zařízení pyrometru, které snímá infračervené záření od měrného tělesa. Optický systém je složen z čoček a zrcadel. Materiály ze kterých jsou zrcadla vyrobená jsou měď, stříbro a zlato. Okénko zaručuje, aby byl optický systém chráněn proti nečistotám a byl nepoškozený, což je nezbytné pro správnou funkci. Okénko ovlivňuje vlnové délky, na které pyrometr reaguje.



Obr. 1.14 Optimální zaměření objektu [12]

Při optimálním zaměření pyrometru, (viz obr. 1.14) není vhodné, aby byl měřený předmět menší než měrná plocha. Charakteristickým parametrem je zorný úhel, tj. index zaostření, a je roven poměru snímané plochy na měřeném objektu ku vzdálenosti měrného předmětu od objektivu. Čím je objekt zaostření menší, tím je optické rozlišení větší.

1.4.1. Objektivní pyrometry

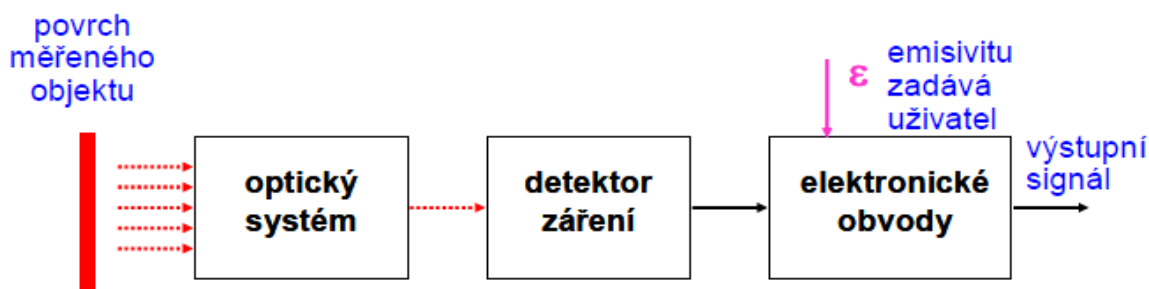
Jsou to přístroje, u nichž je záření určováno pomocí detektorů. Nejvíce se využívá termočlánků, fotodiody a fotoodporu. Výsledná teplota není ovlivněná lidskou chybou při srovnávání zařízení. Mezi objektivní pyrometry patří: pásmové, monochromatické, celkového záření (radiační) a poměrové.

1.4.1.1. Pásmové pyrometry

Tyto přístroje pracují v relativně úzkém rozmezí vlnových délek, přičemž volba tohoto rozmezí souvisí s požadovaným účelem měření. V poslední době bylo vyvinuto mnoho různých úzkopásmových přístrojů pro specifické aplikace. Měřicí rozsahy jsou značně proměnné. Např. $(-50 \text{ až } + 600)^\circ\text{C}$, $(0 \text{ až } 1000)^\circ\text{C}$, $(600 \text{ až } 3000)^\circ\text{C}$ atd.

Požadované pásmo vlnových délek se vymezuje aplikací vhodné optiky, optického filtru a vhodnou spektrální citlivostí detektoru.

Jako čidla pásmových pyrometrů se využívá fotoelektrických detektorů. Tj. fotonek, fotočlánků, fotodiod, fototranzistorů a fotoodporů. Jejich výhodou je velmi rychlá reakce na změnu teploty a možnost měření teploty i malých objektů. Spektrální citlivost je závislá na typu čidla. [13]



Obr. 1.15 obecné schéma pásmového pyrometru [13]

1.4.1.2. Monochromatické pyrometry

Monochromatické pyrometry se někdy označují jako úzkopásmové teploměry. Jsou velmi podobné jasovým pyrometrům s rozdílem, že záření je vyhodnoceno elektronickým detektorem. Tyto pyrometry měří ve velmi úzkých oblastí vlnových délek. Oblast vlnových délek, ve kterých monochromatický teploměr pracuje, je závislá a spektrální propustnosti použitého filtru, dále na spektrální propustnosti optiky. A na spektrální citlivosti čidla – detektoru. Monochromatické pyrometry pro kratší vlnové délky se používají pro měření vyšších teplot – nad 500°C (maximum je 3500°C). Delší vlnové délky se používají pro nižší teploty – od -45°C . Dnes jsou monochromatické pyrometry využívány méně, právě protože měří pouze v úzkém rozsahu vlnových délek. Existují modifikace monochromatického pyrometru – pyrometr s automatickou korekcí emisivity. Tyto pyrometry umožňují měřit teplotu povrchu tělesa bez znalosti jeho emisivity. Princip

spočívá v automatickém zpracování poměru emisivit. K zaměření měrného místa je v pyrometru zabudován laser.

1.4.1.3. Poměrové pyrometry

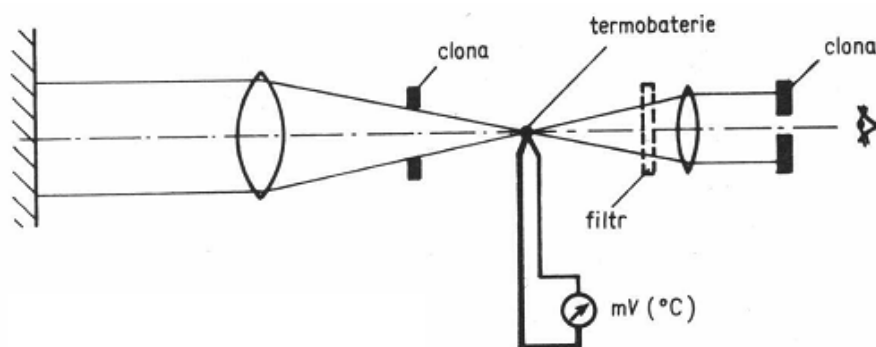
Poměrové pyrometry vyhodnocují teplotu na základě intenzity vyzařování ve dvou vlnových délkách. Nejčastěji využívanými délkami jsou fotodiody, fotovoltaické články či fotoodpory. Poměrové zpracování signálu je vhodné z hlediska malé citlivosti poměrového pyrometru a změnu velikosti žhavého objektu v jeho zorném poli. Pokud se třeba velikost žhavého objektu v zorném poli zmenší na polovinu, poměr obou signálů a tedy i údaj teploty pyrometru zůstane nezměněn. V případě běžného pyrometru by stejná změna velikosti měřeného signálu znamenala chybu, která by zcela zkreslila celé měření. Poměrové pyrometry je výhodné použít, dochází-li k absorpci záření neselektivními složkami, např. kouřem, prachem, rozptylem na vodních kapičkách a mlze. Dále v případech, kdy není pokryto celé pole měřeným žhavým objektem, nebo se velikost tohoto pokrytí mění v průběhu měření, (viz. obr. 1.16). Poměrové pyrometry jsou používány například u ohřevu dílců, neboť tehdy se mění spektrum vyzařování ve velkém rozsahu. Nebo k měření teploty proudu roztaveného železa během odpichu, měření rychle se pohybujícího drátu (tyčoviny), měření teploty sváru při indukčním svařování. Tyto pyrometry jsou vhodné použít pro měření teplot nad 200°C. [15]



Obr. 1.16 Poměrový pyrometr při měření proudu roztaveného železa [14]

1.4.1.4. Radiační pyrometry

(Pyrometry celkového záření, širokopásmové, pyrometry integrační nebo adrometry). Jsou konstruovány tak, že reagují na téměř celé spektrum vysílaného záření. V praxi se realizuje pouze ve velmi širokém pásmu spektra (0,4 až 3,5 μm) viz. obr. 1.17 – vzhledem k propustnosti optických prvků a speciální citlivosti.



Obr. 1.17 Princip radiačního pyrometru s termočlávkovým čidlem

Tepelné záření vysílané měrným objektem, se soustřeďuje optickým systémem na čidlo radiačního pyrometru. Optický systém bývá sestaven z čoček nebo zrcadel. Čidlem bývá nejčastěji baterie termočlávků, dále bolometr (fóliový odporový teploměr) nebo termistor. Povrch čidla bývá začerněn. Přijímač záření i optika musí být pokud možno nezávislá na vlnové délce. Tato podmínka je splněná jak pro termočlánek, tak i pro bolometr. Volby optiky se řídí měřicím rozsahem, který bývá standardně (600 až 2000°C) a (0 až 1000°C). Všechny radiační pyrometry pracují s malými chybami pouze v případech, kdy se emisivita blíží k 1. Tuto podmínku splňují dobře uzavřené prostory, objekty bez lesku apod. Při měření se často používá uzavřených keramických trubic, které jsou vloženy uzavřeným koncem do měřeného prostředí (např. pece). Na dno trubky se pak zaměří pyrometr. Aby pyrometr měřil teplotu zářiče správně, musí být zaručeno, že na přijímač záření dopadají jen tepelné paprsky zářiče. Zdrojem častých chyb je rušivě působící denní světlo. Např. těleso ozářené sluncem nelze měřit. Ke zpracování signálu se u současně vyráběných přístrojů se využívá moderních elektronických obvodů řízených mikroprocesorem. Do paměti se ukládají údaje o maximální a minimální měřené teplotě, střední hodnota teploty a údaj o rychlosti změny teploty. Na displeji je k dispozici měřený

údaj i hlášení o poruchových stavech. Velikost emisivity zadává uživatel pomocí obslužné klávesnice. [16]

1.4.2. Subjektivní pyrometry

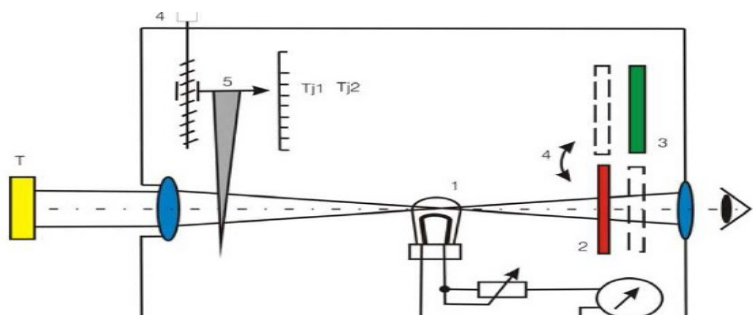
Subjektivní pyrometry potřebují k určení teploty subjekt – člověka. Detektorem záření je lidské oko. Porovnáním záření se srovnávacím zářičem určíme teplotu. Existují dva základní subjektivní pyrometry – jasové a barvové. Jsou poměrně jednoduché, v minulosti byly využívány častěji než dnes, kdy je předčily objektivní pyrometry. Jejich nevýhoda je nemožnost automatizace měření a taky rozdílné výsledky měření.

1.4.2.1. Jasové pyrometry

Jedná se o pyrometry využívající viditelnou část spektra okolo $0,65\mu\text{m}$. Pyrometr je vybaven srovnávacím zdrojem záření, vnitřní optikou, červeným filtrem a obvody pro modulaci jasu přijímaného nebo srovnávacího záření. Základní princip spočívá v porovnání jasu měřeného objektu přes filtr s jasnem pyrometrické žárovky. Je-li jas žárovky vyšší než jas měřeného objektu, pak vlákno žárovky září na temnějším pozadí. Je-li tomu naopak, pak je obrys vlákna temný na světlejším pozadí. Pozorovatel se snaží o to, aby jas pyrometrické žárovky byl stejný jako jas měřeného tělesa, tedy aby obraz vlákna zmizel. Regulace se provádí buď změnou příkonu žárovky za pomoci regulačního odporu, nebo u jiného typu jasového pyrometru za pomoci šedého klínu. Obecně lze říci, že jasové pyrometry nevyžadují tak pečlivé nastavení jako radiační. Nevýhodou je nutnost ruční manipulace. [13]

1.4.2.2. Barvové pyrometry

Pro měření jsou zde využívány dvě vlnové délky. Nejčastěji $0,55\mu\text{m}$ a $0,65\mu\text{m}$ tedy zelená a červená barva světla. Teplota je vyhodnocena podle barevného vjemu vyvolaného těmito spektry. Teplota je určena z poměru jasů, nebo srovnáním záření. Někdy jsou barvové pyrometry označovány jako pyrometry na speciální rozložení. Poměrový barvový pyrometr pracuje jako dva samostatné jasové pyrometry, každý s jinou vlnovou délkou. Součástí jsou dva výměnné filtry, červený a zelený. Poměr naměřených intenzit odpovídá barvové teplotě, viz obr. 1.18. [19]



Obr.1.18 Schéma poměrového barvového pyrometru [18]

Práce s barvovými pyrometry je daleko náročnější než s jasovými. Velmi náročné je jejich seřízení, proto jsou v praxi méně rozšířeny. Jsou vhodné pro měření teplot u těles, u nichž není přesně známa emisivita, nebo tam, kde emisivita kolísá. Ale také tam, kde se teplota nemění příliš rychle. Rozsah měření se pohybuje od 700°C do 2000°C. Chyba bývá 1,5% až 2% z měřicího rozsahu. [19]

1.5. ŘEZNÁ KERAMIKA

Moderní definici je keramika obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly), ale i brousící materiály a řadu tzv. „nových“ (speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových, pokrokových, příp. jinak nazývaných) keramických látek. [21]

Je to tedy polykrytalický materiál se zrní malých rozměrů, který obsahuje náhodné technologické defekty a mikrostrukturní nehomogenity a vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, nízkou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností.

Řeznou keramikou se rozumí řezný materiál, který se používá především na obrábění velmi tvrdých materiálů a tento řezný materiál umožňuje i vysokorychlostní obrábění, kde odolává vysokým teplotám. [20]

1.5.1. Výroba řezné keramiky

Výroba keramických součástí (např. břitových destiček) je podobná postupům pro vyhotovení slinutých karbidů, nebo cermetů. Rozdílný je pojivový materiál pro spojení zrn

tvrdé fáze do jednoho tělesa, který u slinutých karbidů tvoří kobalt, u cermetů jím je nikl. Keramika žádný takový materiál neobsahuje. To znesnadňuje výrobu a klade tak vysoké nároky na výrobní zařízení.

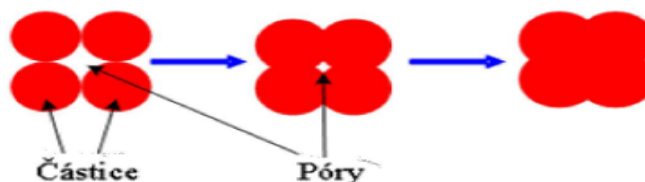
Hlavní roli v mechanických vlastnostech řezné keramiky hraje velikost zrn, póry ve struktuře, hranice zrn, stejnosměrnost, množství trhlin atd. Cílem při výrobě je proto co nejmenší zrno, velmi úzké spektrum rozdělení zrn a homogenita materiálu.

Mezi přednostmi řezné keramiky patří:

- Tvrdost,
- pevnost v tlaku,
- vysoký modul pružnosti,
- malá měrná hmotnost,
- vysoká tepelná odolnost,
- stálá pevnost v ohybu i za vysokých teplot,
- chemická stálost,
- odolnost proti opotřebení.

Stručný postup výroby keramických materiálů:

- Příprava směsi prášků,
- mletí,
- míchání – tzv. aglomerace, což je mísení keramiky a přílad za mokra, nebo sucha,
- tvarování – především za studena, ale není výjimkou za tepla,
- sušení – do 100°C, za účelem odstranění těkavých složek,
- slinování – (viz. obr.1.19) nejdůležitější proces, jedná se o zhutnění za teplot okolo $0,5 \div 0,9$ bodů tání materiálu. Částice se tak spojí v celek.



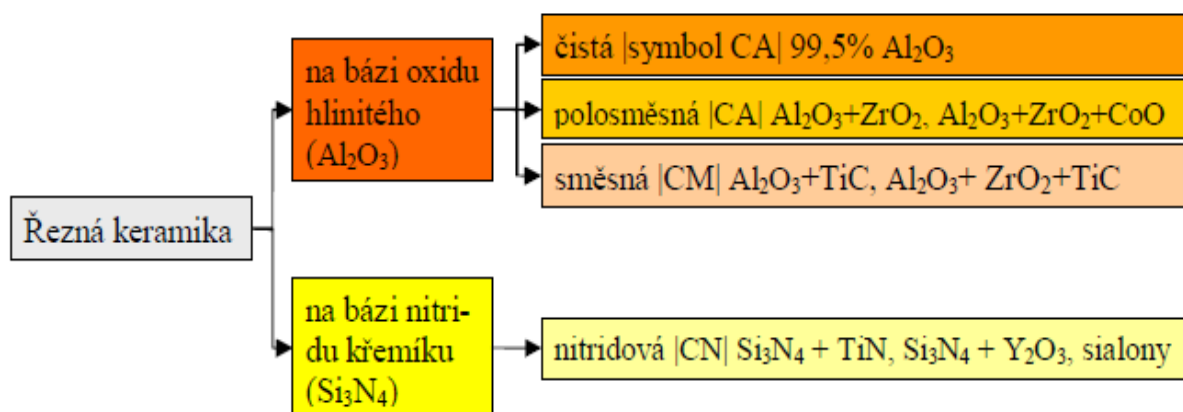
Obr. 1.19 Slinování a jeho fáze

- tepelné zpracování,
- povrchová úprava.

Pro zlepšení vlastností keramiky se používá metoda HIP (Hot Isostatic Pressing), což je vysokoteplotní izostatické lisování. Touto technologií probíhá v tlakové nádobě spékání a zároveň na součást působí tlak ve všech směrech. Naproti tomu u klasického vysokoteplotního lisování působí tlak jen v jednom směru.

1.5.2. Druhy a značení ŘK

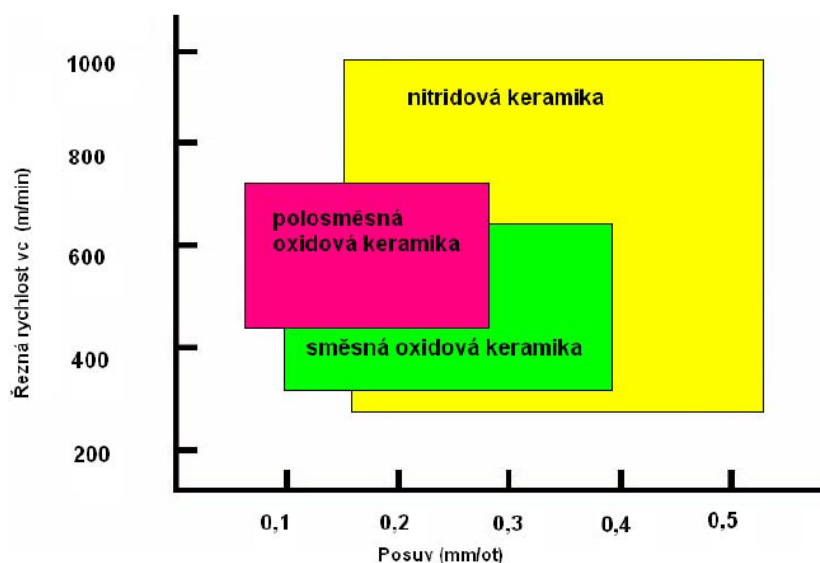
Dělení a značení keramických materiálů neurčuje konkrétní norma, všeobecně je přijímáno dělení na následující dva základní typy.



Většinu keramik lze povlakovat metodou CVD i PVD a vyrábět s vyztužujícími vlákny.

Dle normy ČSN ISO 513 se povlakovaná keramika značí symbolem CC.

V obchodní praxi se používá značení dle zvyklostí jednotlivých výrobců. [21]



Obr. 1.20 Rozsah použití řezné keramiky.

1.5.3. Použití keramických nástrojů

Výrobní průmysl řezných nástrojů třídí slinuté karbidy do tříd podle normy ISO, Standard, R513 nebo podle Mezinárodní organizace pro standardizaci nebo podle norem Joint Industrial Council of the United States.

Stupně směsné keramiky jsou obvykle vybírány pro obrábění železných kovů při vysokých řezných rychlostech, když je požadována vysoká přesnost rozměrů a hladký povrch. Přerušované řezy jsou doporučeny jen s velmi malým průřezem třísky a silným ostřím.

V posledních letech začala různá průmyslová odvětví nahrazovat broušení součástí z kalené oceli soustružením řeznými nástroji ze směsné keramiky, (viz obr. 1.20)

Celkové náklady často porovnávají posun od broušení k soustružení. Například automobilový průmysl žádá tento proces soustružení kalených ozubených věnců, planetových soukolí, hnacích poloos a podobných součástek. [4]

1.5.4. Provedení keramických nástrojů

Řezné nástroje z keramiky jsou výhradně užívány jako vyměnitelné destičky, (viz. obr. 1.21) Celistvé keramické nástroje, nebo pájené nástroje jsou používány zřídka. Nižší pevnost v ohybu a houževnatost u směsné keramiky, v porovnání se slinutými karbidy, vedly k designu nástrojových držáků s hlubšími kapsami, které připouští i keramické destičky s větší tloušťkou.

Systémy upnutí destiček jsou použitelné pro řezné nástroje z keramiky a jsou navrženy podobně jako u slinutých karbidů. Horní upnutí a nebo upnutí za díru je běžné pro typy destiček, jako jsou: kulaté, čtvercové, trojúhelníkové, 80° a 55° kosočtverečné. Ale při hrubování je praktické použít pevné nebo nastavitelné utvařeče třísek k získání lepšího rozdělení upínací síly.

Doporučené vyměnitelné břitové destičky jsou se střížkovitou dosedací plochou, s horním upnutím, dokončovací drážkovací destičky nebo kulaté destičky s pozitivním úhlem čela, které se používají pro profilování nebo drážkování. Úpravy břitu jsou dalším významným faktorem při výrobě nástrojů z keramiky. Účelem přípravy břitu je eliminace mikrotrísek z předchozí operace broušení a posílení a vyhlazení břitu. [4]



Obr. 1.21 Keramické destičky firmy CeramTec [23]

2.1. VLASTNÍ EXPERIMENT

V této části bakalářské práce se budeme zabývat rozbořem a měřením vlastního experimentu. Strojem, materiálem obrobku a měřicími zařízení. Dále popisem experimentu s vyhodnocením naměřených dat a informací.

2.1.1. Stroj

Pro experiment byl vybrán universální hrotový soustruh MAŠSTROJ TROJAN C11 MV, který byl dostupný v laboratořích VŠB-TU Ostrava, (viz obr. 2.1) parametry soustruhu jsou uvedeny v tabulce 2.1.



Obr. 2.1 Soustruh MAŠSTROJ TROJAN C11 MV

Tabulka 2.1 Parametry soustruhu

Vzdálenost hrotů:	1100 mm
Oběžný průměr nad ložem:	500 mm
Oběžný průměr nad suportem:	290 mm
Průměr sklíčidla:	ø250/300 mm
Zdvih příčného suportu:	270 mm
Zdvih podélného suportu:	950 mm
Výkon hlavního motoru S1:	15 kW

2.1.2. Pyrometr

Při svém experimentálním měření jsem používal pyrometr AMIR 7838-21, (viz. obr. 2.2) Ten byl propojen se záznamovým zařízením ALMEMO 2590-4S, který ukládal naměřené hodnoty přímo do počítače, tak, abychom mohli s daty dále pracovat.



Obr 2.2 Infrapyrometr AMIR 7838-21 [25]

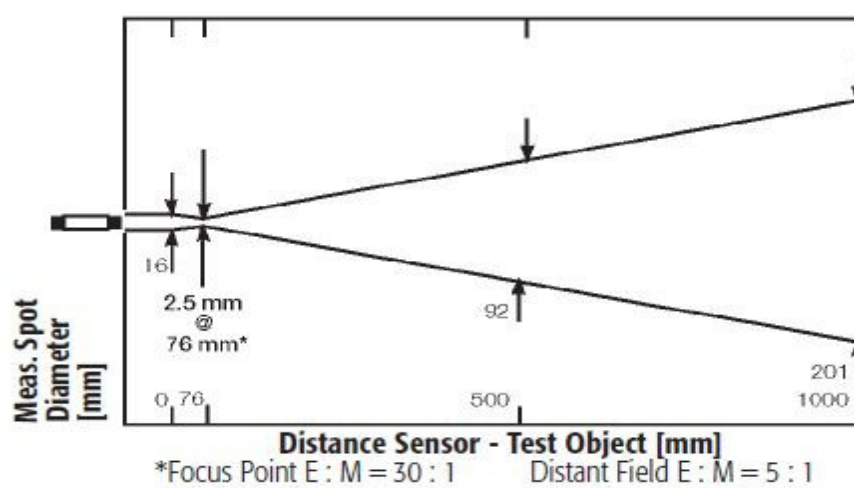
Technická data pyrometru AMIR 7838-21:

Měřicí rozsah	200 - 1000 °C
Přesnost	± 1% z měřené hodnoty (při správně nastavené emisivitě) nebo ± 1,4°C (platí vyšší hodnota)
Reprodukovatelnost	± 0,5 % z měřené hodnoty nebo ± 0,7% (platí vyšší hodnota)
Spektrální citlivost	3,9 nm
Doba odezvy	165 ms pro 95% hodnoty
Emisivita	0,10 - 0,99 v krocích po 0,01
Výstup	4 - 20 mA lineární
Napájecí napětí	12 - 24 V DC ± 20%
Dovolená teplota okolí	<div>Bez chlazení</div> <div>Se vzduch. chlazením</div> <div>S vodním chlazením</div> <div>S ochr. Al - pouzdrům</div> <div>Skladovací</div> <div>0 až 70°C</div> <div>0 až 120°C</div> <div>0 až 175°C</div> <div>0 až 315°C</div> <div>-18 až 85°C</div>
Rel. Vlhkost	10-95% nekondenzující
Rozměry	Délka 187 mm
Hmotnost	330 g bez chlazení. 595 g s chlazením.
Pouzdro	Al - slitina, Nema 4 (IEC 529, IP65).
Odolnost proti nárazu	50C, 11 ms, ve všech osách (IEC 68-2-7).
Odolnost proti vibracím	3G, 11 - 200 Hz ve všech osách (IEC 68-2-6).

Pro přesné nastavení pyrometru, je nutné použít optický zaměřovač. Přes zrcátko, které je natočené o 90° spolu s nitkovým křížem nastavujeme tak, abychom měli pyrometr zaměřen přesně na špičku hrany řezného nástroje, (viz. obr.2.3) a zároveň dodrželi ohniskovou vzdálenost určenou pro daný pyrometr, (viz. obr.2.4). Příčinou nepřesností v měření by mohly být odlétávající třísky, které zasahovaly do paprsku pyrometru, popřípadě neúplné přesné nastavení paprsku na špičku nástroje.



Obr. 2.3 Nastavení pyrometru na špičku nástroje.



Obr. 2.4 Závislost rozměru cíle na vzdálenosti čočky od měřeného objektu pyrometru AMIR 7838 [25]

2.1.3. Zařízení pro záznam naměřených hodnot

Naměřené hodnoty, které vysílá pyrometr AMIR 7838-21 v rozmezí 4 – 20 mA, musí být pro záznamové zařízení ALMEMO, (viz. obr. 2.5) překalibrovány, protože toto zařízení, které slouží ke zpracování naměřených dat, postrádá rovnici, díky které dokáže převést naměřené hodnoty na stupně celsia. Tyto hodnoty se v procentech mA ukládají přímo do počítače, kde budou po kalibraci pyrometru převedeny pomocí softwarového programu Microsoft Excel. Záznamové zařízení je schopno zaznamenávat až 4 vstupy.



Obr. 2.5 Dataloger ALMEMO 2590-4S

2.1.4. Kalibrace pyrometru AMIR 7838-21

Přenos naměřených hodnot z pyrometru AMIR 2590-4S na dataloger ALMEMO 7838-21 zaznamenává data pouze v % mA. Záznam těchto miliampér musíme převést na °C, proto musíme provést kalibraci pyrometru a tím můžeme určit převod výstupního signálu % mA na °C. A následně určit závislost teploty na mA.

Kalibrace byla provedena na laboratorní elektrické peci LAC, (viz. obr. 2.6) ve které jsme zahřívali ocelový obrobek. Obrobek byl postupně zahříván při teplotách 250°C, 350°C a 500°C v peci, (viz. Tab. 2.2). Teplota pece byla nastavena digitálně. Při každé nastavené teplotě jsme provedli 6 měření. Aby byla zajištěna dostatečně dlouhá doba mezi přestupem tepla elektrické pece a obrobkem, byl zvolen mezi každým měřením interval 5 min.

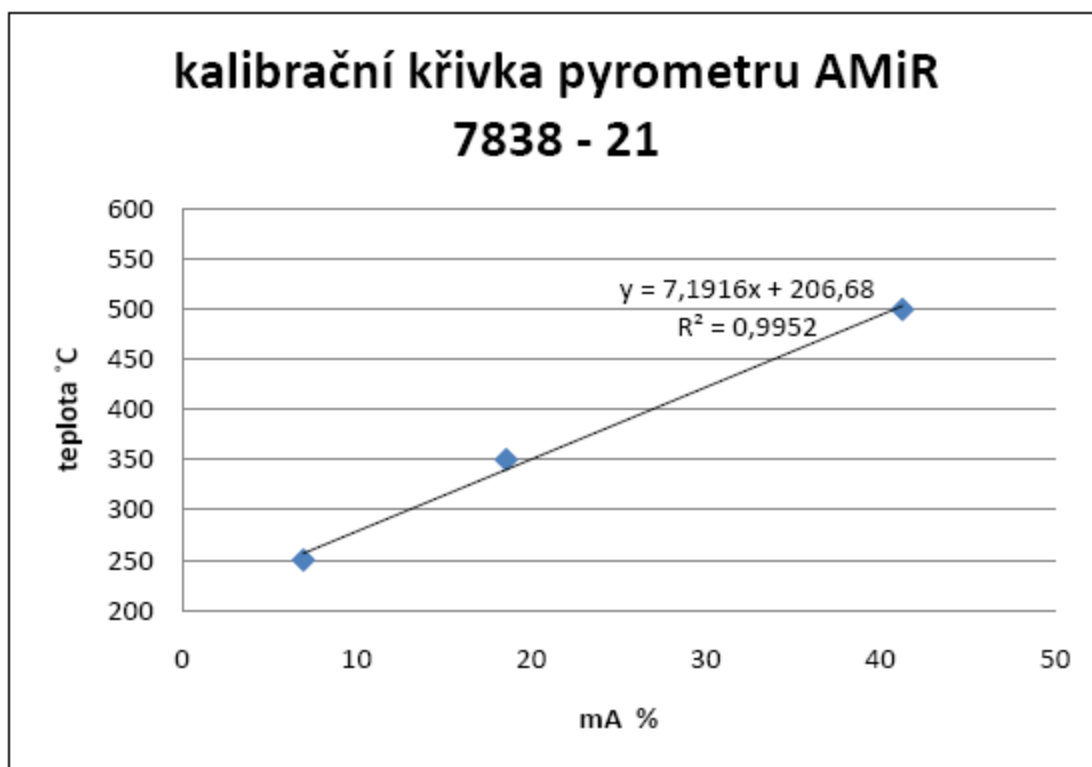
Z naměřených hodnot pyrometru AMIR 7838-21 jsme vytvořili kalibrační křivku, (viz obr. 2.7) podle které můžeme přepočítávat výstupní hodnotu z pyrometru v % mA na °C.

Tabulka 2.2 naměřené hodnoty:

	Teplota pece 250°C	Teplota pece 350°C	Teplota pece 500°C
Číslo měření	Nam. Hodnota %mA	Nam. Hodnota %mA	Nam. Hodnota %mA
1	6,15	18,78	42,63
2	7,5	18,06	41,54
3	8,16	18,15	40,85
4	5,88	18,91	41,32
5	6,47	18,74	40,63
6	7,43	18,7	40,53
Aritmetický průměr	6,97	18,56	41,25
Výsledek	6,93 ±0,81	18,56 ±0,33	41,25 ±0,71



Obr. 2.6 Elektrická laboratorní pec LAC s pyrometrem AMIR



Obr. 2.7 Kalibrační křivka pyrometru AMIR 7838-21






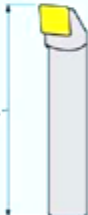



2.1.5. Nožový držák CERAMDEX

Během experimentu byl použit speciální nožový držák pro VBD od firmy CERAMDEX – XCSRNR2525M-1207SEN, (viz. obr. 2.8) Držák je speciálně upraven pro vedení elektrického signálu a zaznamenávání elektrického odporu VBD.



Obr. 2.8 Nožový držák CERAMDEX – XCSRNR2525M-1207SEN

Charakteristika nožového držáku CERAMDEX – XCSRNR2525M- 1207SEN: [26]

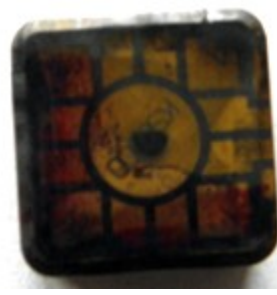
Druh držáku	Způsob upínání	Tvar destičky	Tvar nože	Úhel hřbetu
X speciální	C 	S 	R  75°	N  $\alpha_n=0^\circ$
Směr řezu	Výška držáku	Šířka držáku	Delka držáku	-
R 	25	25	M 150 	-
Velikost hrany	Tloušťka destičky	Tvar destičky	Úhel hřbetu	provedení
12	7	S 	E  20°	N 

2.1.6. Řezný nástroj

Během experimentu nám byla k dispozici vyměnitelná břitová destička Kyocera, (viz.obr.2.9). Křemíko-nitridová destička je vyrobená z řezné keramiky KS – 6000 na kterou je nanesena odporová vrstva. Díky elektrickému obvodu, který je převáděn do počítače můžeme snadno zjistit, zda bylo dosaženo konečného opotřebení nástroje, (viz.obr. 2.10).

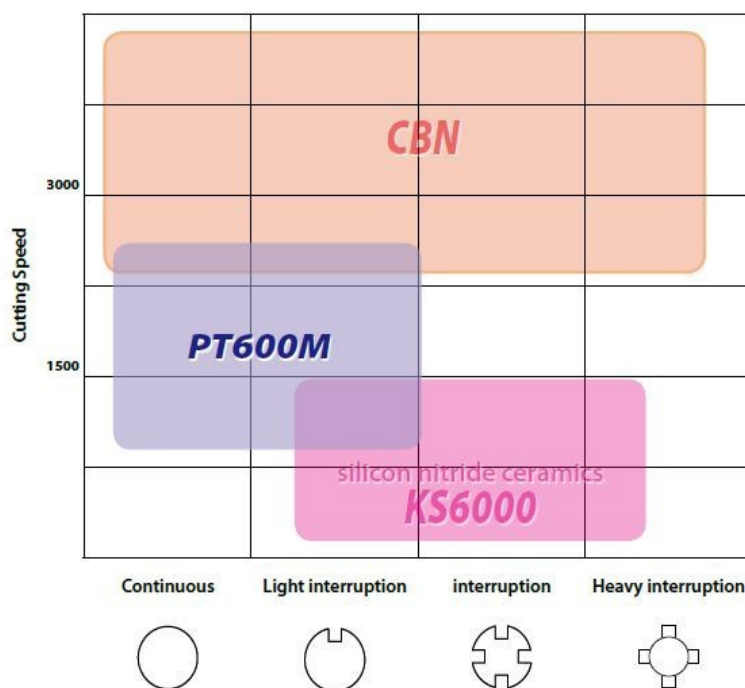


Obr. 2.9 VBD Kyocera KS – 6000



Obr. 2.10 opotřebená destička Kyocera KS – 6000

Kyocera KS – 6000 se používá zejména pro dokončovací, hrubovací práce a přerušované řezy (Obr. 2.11). Je odolná proti teplotním rázům a vhodná k obrábění šedých litin a slitin na bázi niklu. Keramika na bázi Si_3N_4 má vysoký stupeň tvrdosti při teplotách, které by slinutý karbid nesnesl.



Obr. 2.11 Ukázka aplikace řezné destičky.

2.1.7. Materiál

Při experimentu byla použita ocel kruhového průřezu s označením 17 618. Námi zvolená při experimentu patří ke konstrukčním a řadí se do podskupiny manganových ocelí.

Tabulka 2.3 Chemické složení oceli [27]

Prvek	C	Mn
Obsah prvku v [%]	1,2	12

- Kování 800 až 950 °C,
- rozpouštěcí žhání 1000 až 1050 °C,
- pozvolné ohřívání 850 °C,
- dohřívání na 1000 až 1050 °C,
- ochlazování ve vodě.

3.1 Zpracování a vyhodnocení experimentu

První část byla zaměřena na vyhodnocení experimentu a následné vynesení grafů závislosti teploty na čase a porovnávání jednotlivých hran řezů. Z důvodu velkého množství grafů jsou zde uvedeny pouze vybrané, ostatní grafy vyměnitelné břitové destičky jsou uvedeny v příloze. Následně je vyhodnocení zaměřeno na vliv teploty řezání při konstantní řezné rychlosti a konstantním posuvu, které vykreslíme také do grafů a vyhodnotíme jejich vliv na teplotu. Tyto závislosti budou zpracovávány a budou stanoveny konstanty a exponenty pro výpočet teploty řezání. Výstupem tohoto měření bude stanovení empirické rovnice teploty řezání.

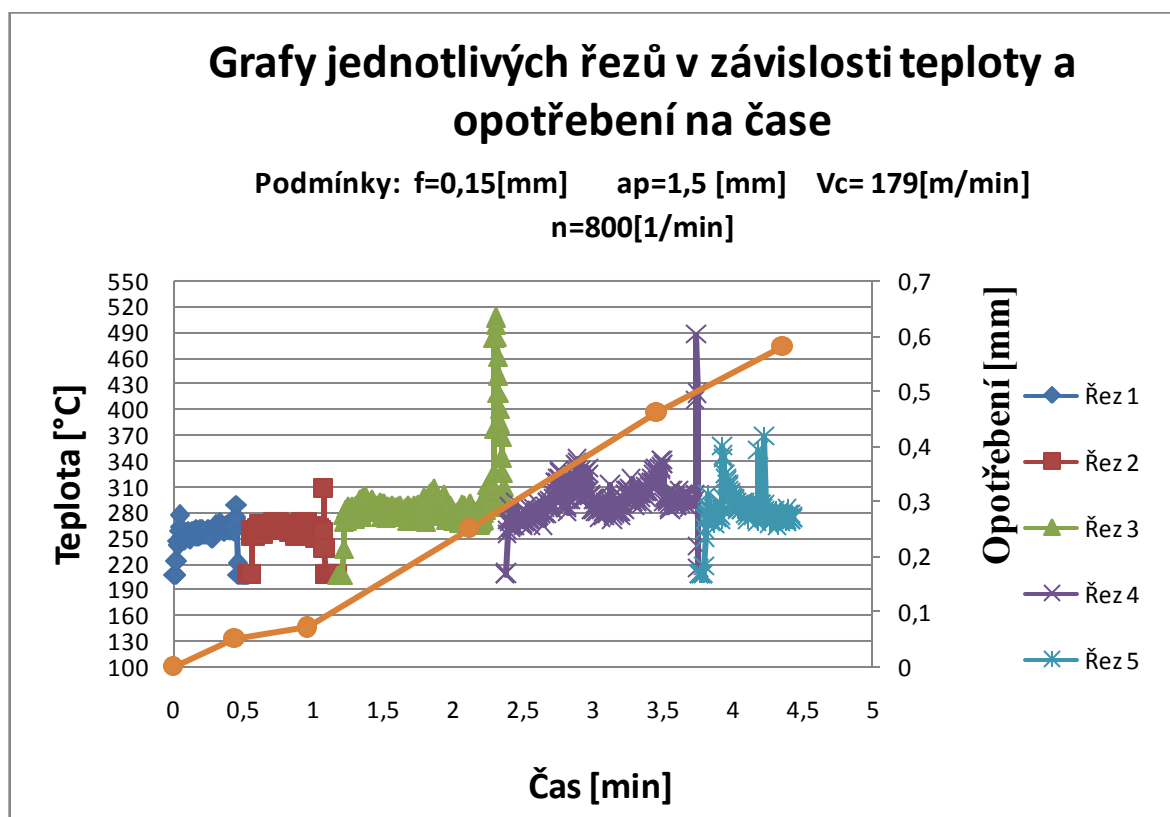
3.1.1. Vyhodnocení závislosti teploty na čase

Během celého experimentu byla měřena teplota při různých řezných podmínkách. Pro první tři měření jsme měnili hodnoty posuvu. U zbylých řeznou rychlost, (viz. tabulky 3.1 až 3.6), na kterých byla zkoumána teplota, odpor a opotřebení vyměnitelné břitové destičky.

Na obrázku 3.1 můžeme vidět celkový záznam teplot a opotřebení při obrábění hranou č.1 vyměnitelné břitové destičky. Barevně jsou znázorněny teploty jednotlivých řezů a oranžovou barvou je vyznačené opotřebení v závislosti na čase. Při porovnání všech řezů můžeme vidět, že teplota má mírně vzrůstající tendenci.

Tabulka 3.1 Řezné podmínky při jednotlivých řezech hrany č.1

Hrana č.1	L[mm]	t[min]	n[1/min]	vc[m/min]	f[mm]	a _p [mm]	D [mm]
1. měření	52	0,44	800	179	0,15	1,5	71,3
2. měření	64	0,52	800	179	0,15	1,5	71,3
3. měření	134	1,16	800	179	0,15	1,5	71,3
4. měření	169	1,34	800	179	0,15	1,5	71,3
5. měření	105	0,9	800	172	0,15	1,5	68,3

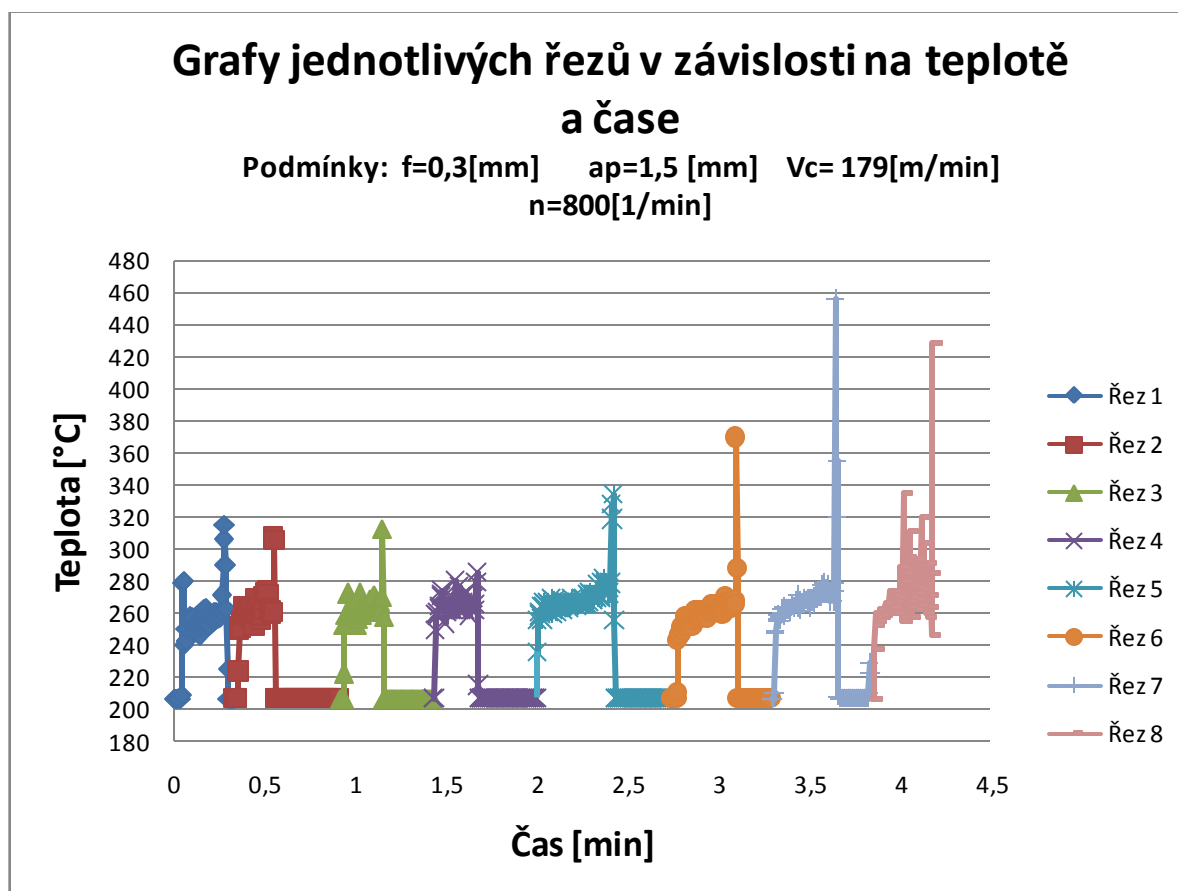


Obr. 3.1 Závislost teploty a opotřebení na čase u řezné hrany č.1.

U obrázku 3.2 si můžeme všimnout velmi vysokých teplot na konci každého řezu, zejména pak u řezů č.4 až č.8. To je způsobeno tím, že pyrometr AMIR 7838-21, který je nastaven na špičku nástroje měří ve skutečnosti třísku, která po ní odchází z místa řezu. Následné přerušení řezu zaznamenává špičku nástroje bez odchodu třísky a tím způsobuje záznam velké teploty.

Tabulka 3.2 Řezné podmínky při jednotlivých řezech hrany č.2

Hrana č.2	L[mm]	t[min]	n[1/min]	vc[m/min]	f[mm]	a_p [mm]	D [mm]
1. měření	53	0,25	800	172	0,3	1,5	68,3
2. měření	50	0,2	800	172	0,3	1,5	68,3
3. měření	52	0,22	800	172	0,3	1,5	68,3
4. měření	58	0,27	800	172	0,3	1,5	68,3
5. měření	102	0,42	800	172	0,3	1,5	68,3
6. měření	78	0,33	800	164	0,3	1,5	65,2
7. měření	82	0,35	800	164	0,3	1,5	65,2
8. měření	79	0,33	800	164	0,3	1,5	65,2

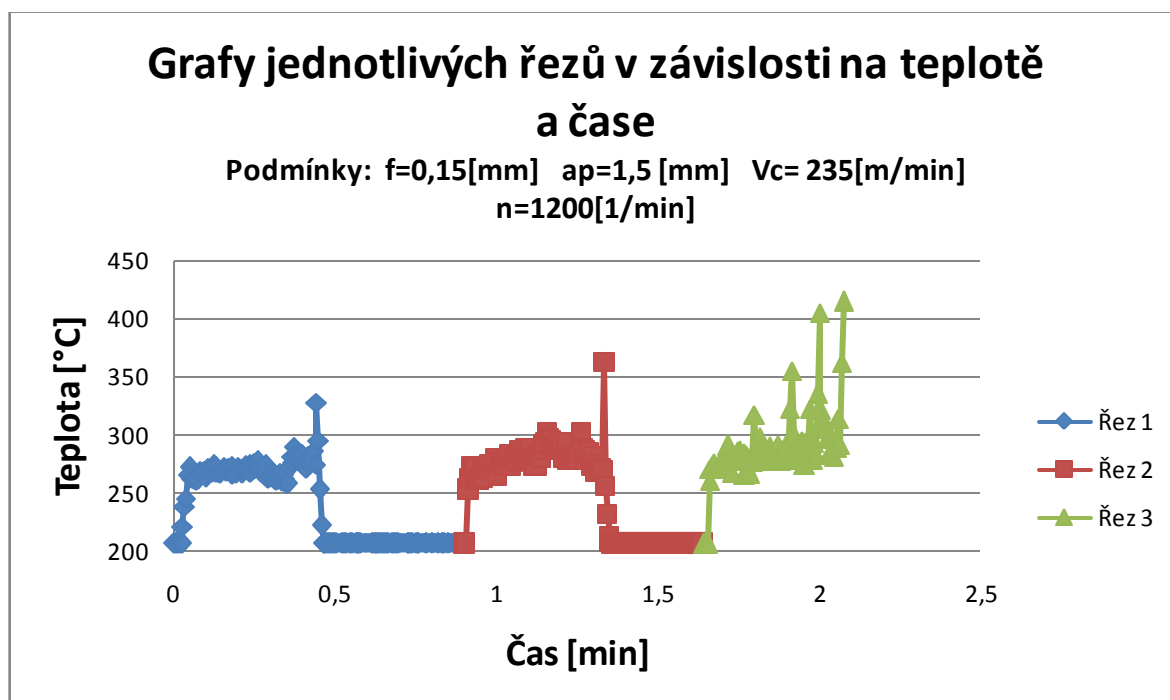


Obr. 3.2 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.2

Na obrázku 3.3 je vidět celkový záznam teplot v závislosti na čase řezné hrany č. 4 vyměnitelné břitové destičky. Zde můžeme vidět velmi výrazné snížení teploty v časech 0,5 až 0,85 a 1,4 až 1,7. Je to způsobeno přerušením experimentu na delší dobu, během které došlo k úplnému vychladnutí břitové destičky, z důvodu měření opotřebení a velikosti odporové vrstvy.

Tabulka 3.3 Řezné podmínky při jednotlivých řezech hrany č.4

Hrana č.4	$L[\text{mm}]$	$t[\text{min}]$	$n[1/\text{min}]$	$v_c[\text{m/min}]$	$f[\text{mm}]$	$a_p [\text{mm}]$	$D [\text{mm}]$
1. měření	79	0,43	1200	235	0,15	1,5	62,4
2. měření	82	0,44	1200	235	0,15	1,5	62,4
3. měření	80	0,43	1200	235	0,15	1,5	62,4



Obr. 3.3 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.4

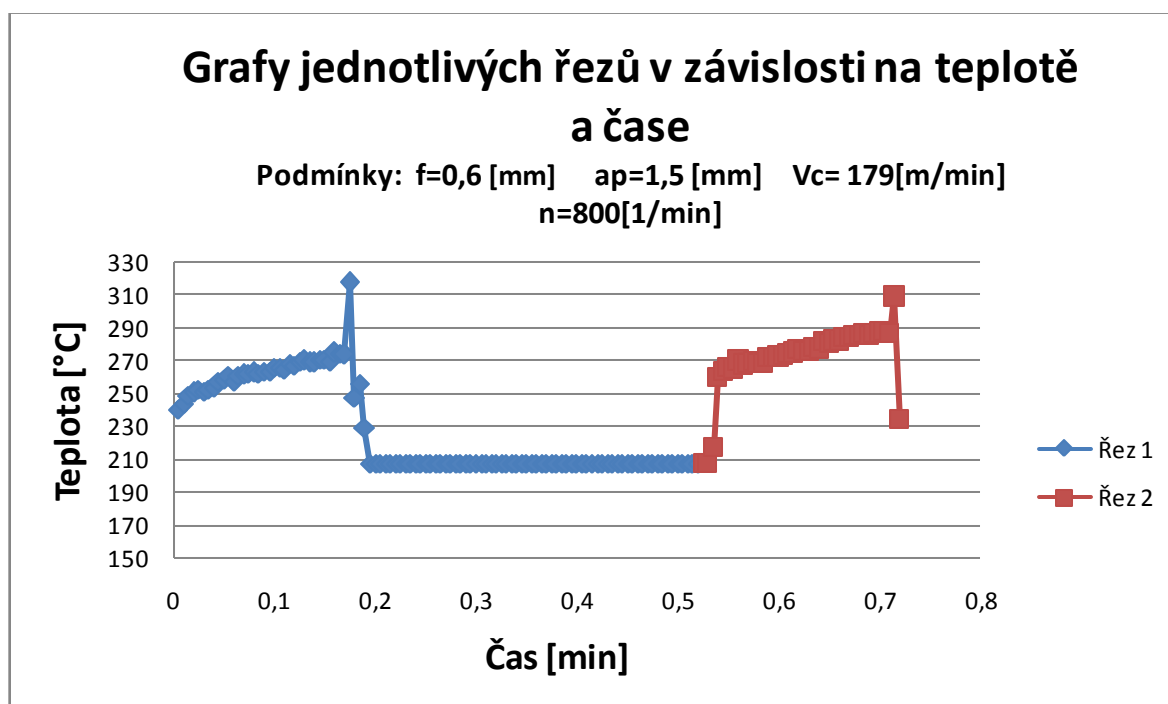
Dále můžeme srovnat vliv řezných podmínek během soustružení hrany č.3 a č.6 vyměnitelné břitové destičky. Z obr. 3.4 si lze všimnout, že stačily pouhé dva řezy k tomu, abychom úplně opotřebili břitovou destičku. Stalo se tak za necelou minutu obrábění. Teplota řezné hrany přitom nepřesáhla 300°C . Zatím co u obr. 3.5 je vidět, že zvolením vhodnějších řezných podmínek jsme schopni obrábět mnohem déle (až 17 min.). A jsme schopni dosáhnout třinácti řezů. To vše na stejném materiálu. Teplota na hraně č.6 dosahuje až 340°C .

Tabulka 3.4 Řezné podmínky při jednotlivých řezech hrany č.3

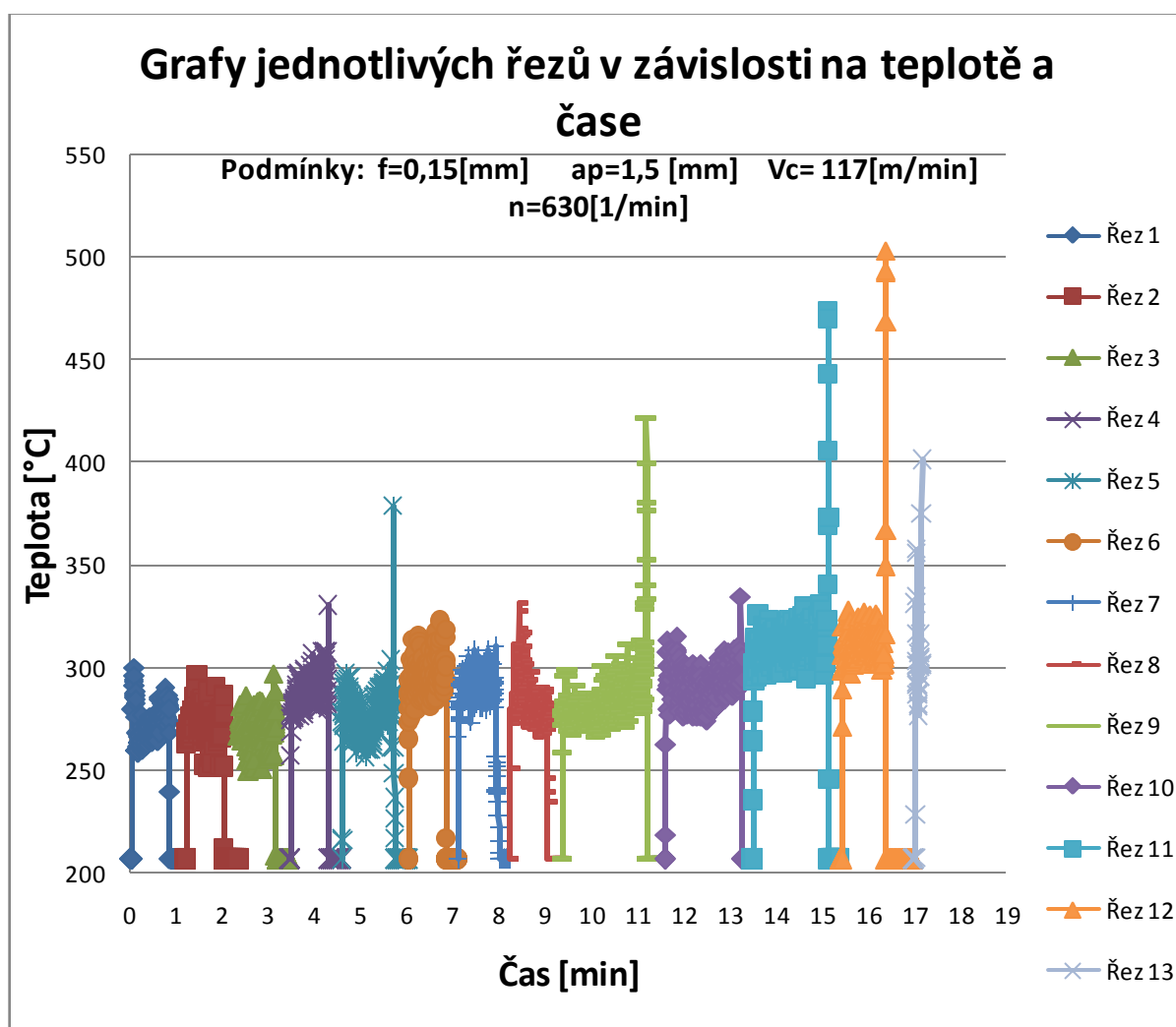
Hrana č.3	L[mm]	t[min]	n[1/min]	vc[m/min]	f[mm]	a_p [mm]	D [mm]
1. měření	82	0,2	800	164	0,6	1,5	65,2
2. měření	86	0,2	800	164	0,6	1,5	65,2

Tabulka 3.5 Řezné podmínky při jednotlivých řezech hrany č.6

Hrana č.6	L[mm]	t[min]	n[1/min]	vc[m/min]	f[mm]	a _p [mm]	D [mm]
1. měření	78	0,81	630	117	0,15	1,5	59,3
2. měření	81	0,82	630	117	0,15	1,5	59,3
3. měření	80	0,81	630	117	0,15	1,5	59,3
4. měření	80	0,81	630	117	0,15	1,5	59,3
5. měření	113	1,14	630	117	0,15	1,5	59,3
6. měření	79	0,82	630	111	0,15	1,5	56,3
7. měření	80	0,83	630	111	0,15	1,5	56,3
8. měření	79	0,81	630	111	0,15	1,5	56,3
9. měření	179	1,83	630	111	0,15	1,5	56,3
10. měření	158	1,64	630	106	0,15	1,5	53,4
11. měření	159	1,64	630	106	0,15	1,5	53,4
12. měření	94	0,97	630	106	0,15	1,5	53,4
13. měření	13	0,14	630	100	0,15	1,5	50,6



Obr. 3.4 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.3

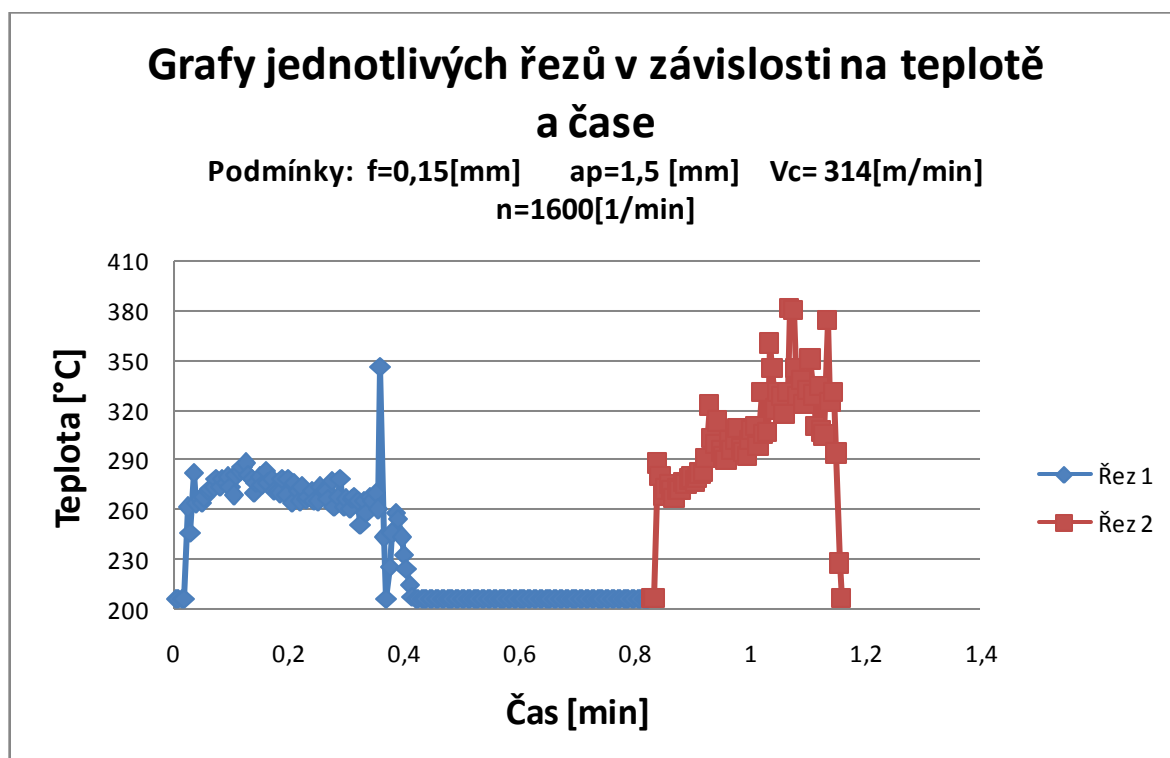


Obr. 3.5 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.6

U řezné hrany č. 5 (viz. obr č.3.6) jsme dosáhli největší naměřené teploty během celého měření. Teplota se vyšplhala až na 350°C. Do tohoto měření nezasahují extrémy, které vznikají najetím do materiálu, nebo přerušením soustružení během řezu.

Tabulka 3.6 Řezné podmínky při jednotlivých řezech hrany č.5

Hrana č.5	L[mm]	t[min]	n[1/min]	vc[m/min]	f[mm/ot]	a_p [mm]	D [mm]
1. měření	81	0,38	1600	314	0,15	1,5	62,4
2. měření	75	0,32	1600	314	0,15	1,5	62,4



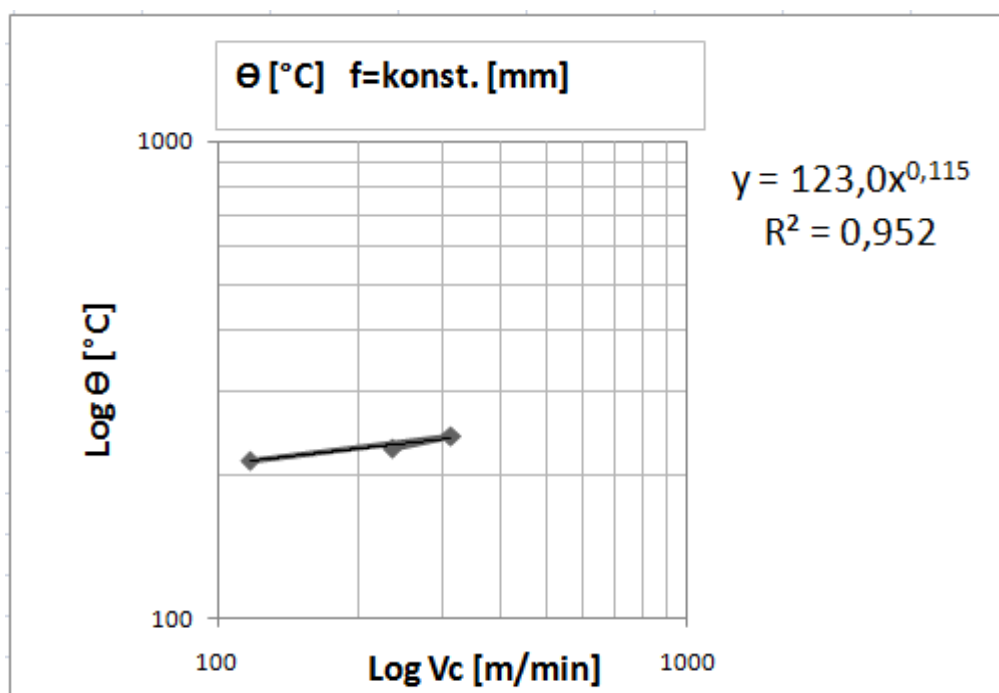
Obr. 3.6 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.5

3.1.2. Stanovení statické rovnice teploty řezání

Během experimentu byly vytvořeny vytvořit grafy závislosti teploty na řezné rychlosti a posuvu, které jsme určili z tabulky 3.6. Jedná se o průměr teploty, který byl naměřen do 0,5 min strojního času každé řezné hrany břitové destičky.

3.6 Tabulky naměřených hodnot:

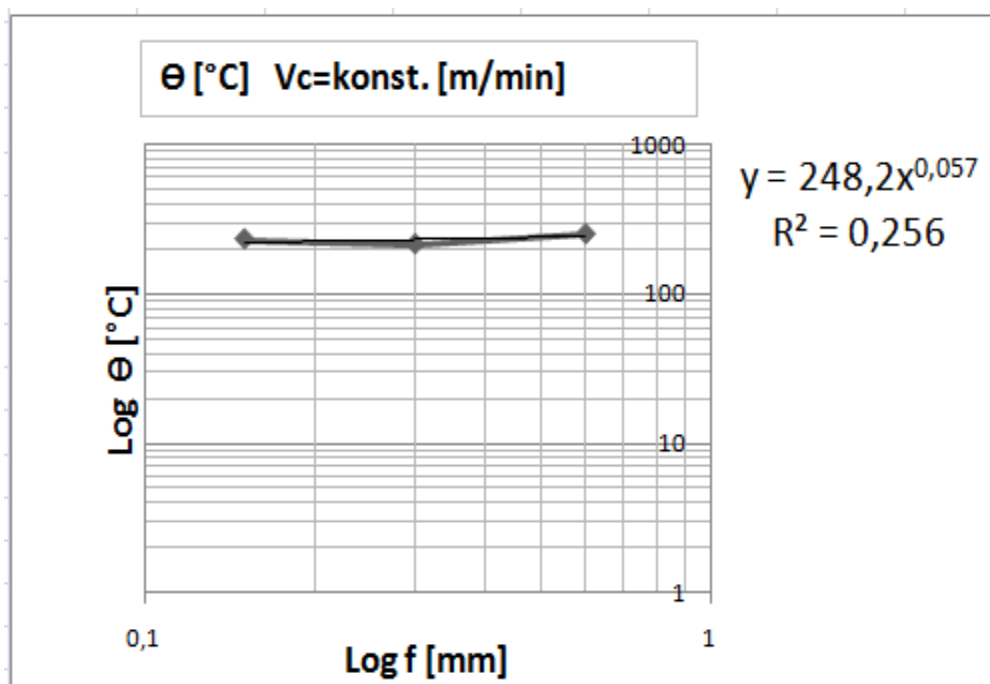
Hrana	$\varnothing \theta [^{\circ}\text{C}]$	$V_c [\text{m/min}]$	$f [\text{mm}]$
1	231,49	179	0,15
2	214,21	179	0,3
3	250,67	179	0,6
4	227,59	235	0,15
5	241,26	314	0,15
6	214,02	117	0,15



Obr. 3.6 Vliv řezné rychlosti na teplotu řezání při konstantním posuvu 0,15 mm.

Obrázek 3.6 znázorňuje vliv řezné rychlosti na teplotu řezání. Do grafu byla zavedena rovnice regrese, pomocí které je vykreslena křivka zobrazující vliv V_c na Θ . Závislost V_c na Θ je vyjádřena mocninnou funkcí. Pro úplnost uvádíme index korelace, neboli koeficient spolehlivosti R^2 . Hodnota 0,952 nám ukazuje na silnou závislost. Jestli by hodnota byla jiná, znamenalo by to, že jsme se dopustili náhodných, nebo větších systematických chyb.

Obrázek 3.7 zobrazuje závislost teploty řezání na posuvu. Tento graf byl zase proložen mocninnou funkcí. Zde je hodnota R^2 poměrně malá a dá se usuzovat, že se jedná o slabou závislost. Pro přesnější určení regresních rovnic by bylo potřeba provádět měření na větším rozsahu hodnot posuvů a řezných rychlostí. A bylo by také vhodné použít více naměřených hodnot.



Obr. 3.7 Vliv posuvu na teplotu řezání při konstantní řezné rychlosti 179 m/min.

Nyní již můžeme určit řešení statické rovnice při řezání. Vycházíme z rovnice, která má tvar:

$$\Theta = C_{\Theta} \cdot f^{Y_{\Theta}} \cdot V_c^{Z_{\Theta}} \quad (2)$$

$$\Theta = C_1 \cdot V_c^{Y_{\Theta}} \quad (\text{při } f \text{ konstantním})$$

$$\Theta = C_2 \cdot f^{Y_{\Theta}} \quad (\text{při } V_c \text{ konstantní})$$

Vyřešením této soustavy rovnic dostaneme danou konstantu C_{Θ} .

Pro naše použití musíme rovnici upravit do tvaru:

$$\Theta = C_{\Theta} \cdot f^{Y_{\Theta}} \cdot V_c^{Z_{\Theta}} \quad (3)$$

Dále musíme určit konstantu C_{Θ} . Pro její určení musíme nejprve znát konstanty $C_{\Theta 1}$, $C_{\Theta 2}$ u kterých je nutné zjistit exponenty Y_{Θ} a Z_{Θ} a konstanty C_1 a C_2 . Tyto lze snadno určit z předchozích grafů. To znamená, že konstanta $C_1 = 248,23$, konstanta $C_2 = 123$ a hodnoty exponentů jsou: $Y_{\Theta} = 0,057$ a $Z_{\Theta} = 0,1152$.

Nyní bude vypočítána konstanta C_θ :

$$C_{\theta 1} = \frac{C_1}{Vc^Z} = \frac{248,23}{179^{0,1152}} = 136,56$$

(kde Vc = konstantní řezná rychlost, za změny f)

$$C_{\theta 2} = \frac{C_2}{f^Y} = \frac{123}{0,15^{0,057}} = 137,04$$

(kde f = konstantní posuv, za změny Vc)

Protože je celé měření zatíženo určitou chybou, musíme hodnoty $C_{\theta 1}$ a $C_{\theta 2}$ vypočítat jako průměr. Následně dosáhneme výsledné hodnoty C_θ .

$$C_\theta = \frac{C_{\theta 1} + C_{\theta 2}}{2} = \frac{136,56 + 137,04}{2} = 136,8 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Statická rovnice teploty řezání u soustružení inteligentním břitovým nástrojem z řezné keramiky KS - 6000 na materiálu 17 618 a hloubky záběru 1,5 mm bude vypadat:

$$\theta = 136,8 \cdot f^{0,057} \cdot Vc^{0,1152} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Tuto rovnici je možno použít pro zjišťování teploty řezání pro různé druhy posuvů a řezných rychlostí za daných konstantních podmínek. Ostatní hodnoty musí být zachovány. Z exponentů Y_θ a Z_θ je vidět, že větší vliv na teplotu řezání má řezná rychlost.

4.1 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo sledování teplot při obrábění inteligentním břitovým nástrojem. Inteligentní nástroj je křemíko-nitridová destička, na kterou je nanesena odporová vrstva. Díky ní je možno sledovat opotřebení nástroje přímo v řezu a za chodu stroje. Z důvodu rozsáhlého tématu, byl experiment rozdělen do čtyř bakalářských prací. Měření teploty, elektrického odporu, opotřebení a měření vibrací při soustružení. Má bakalářská práce je zaměřena jen na měření teploty při obrábění.

Experiment probíhal v laboratořích VŠB-TUO na universálním hrotovém soustruhu. Z důvodu speciálně upraveného nožového držáku pro měření elektrického odporu, jsme nemohli použít jinou metodu měření teploty než bezdotykové měřidlo pyrometr AMIR 7838-21 a záznamové zařízení ALMEMO. Pro náš experiment byl vybrán jen jeden materiál, ocel 17 618 na kterém byly měněny různé řezné podmínky. Snahou bylo dosáhnout požadovaného opotřebení VBD. Celkem bylo provedeno šest měření. Při prvních třech měření jsme měnili posuvy a řezná rychlost zůstala konstantní. Na zbylých třech měření zůstal konstantní posuv a byla měněna řezná rychlost. Hloubka řezu $a_p = 1,5$ mm byla konstantní během celého měření. U každého měření jsme dosáhli požadovaného opotřebení. Bezdotykové měření má určitou nevýhodu. V místě řezu je tvořena tříska, která odchází po čele nástroje a překrývá námi zaměřenou špičku nástroje. Ve skutečnosti jsou tedy naměřené hodnoty teploty odcházející třísky a nikoliv řezné hrany. Dále jsme byli nuceni vyřešit problematiku převodu naměřené teploty pyrometru z % mA na °C. K tomu nám sloužila laboratorní pec LAC, pomocí které jsme vytvořili kalibrační křivku a mohli převést % mA na námi požadované °C. V peci bylo provedeno celkem šest měření. Během celého měření experimentu se teploty pohybovaly přibližně od 280°C do 310°C. Teplota měla vždy mírně vzrůstající tendenci. U žádného z řezů nedošlo k velkým výkyvům teploty. Vliv teploty na odporovou vrstvu během obrábění se nepotvrdil.

Pro vyhodnocení měření jsme jako sledované parametry obrábění zvolili výše zmiňovanou řeznou rychlost a posuv. Ty jsme dále vykreslili v grafech závislosti teploty řezání na posuvu a teploty řezání na řezné rychlosti. Poté jsme stanovili statickou rovnici teploty řezání pro dané podmínky soustružení. Zde jsme mohli z hodnot exponentů Y_0 a Z_0 potvrdit správnost tvrzení, že řezná rychlost má větší vliv na teplotu řezání a tedy i na trvanlivost nástroje než posuv.

Z naměřených hodnot se dá usuzovat, že zvolený způsob měření je funkční a použitelný pro určování teploty řezání při soustružení.

Použitá literatura

- [1] BRYCHTA, Josef, et al. *Technologie II. : 1. díl*. 1. vydání. Ostrava : VŠB-TUO, 2007. 126 s. ISBN 978-80-248-641-8.
- [2] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění*. 2. dopl. vyd. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [3] ŠTÁVA, Radek. *Bezdotykové měření povrchových teplot při obrábění*. Brno: VUT Brno, FSI, 2008. 65 s.
- [4] BUDA, Ján, BÉKÉS, Ján. *Teoretické základy obrábění kovov*. Bratislava: ALFA, 1977. 696 s. ISBN 302-05-59.
- [5] KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: Cerm, 2005. 270 s. ISBN 80-241-3068-0.
- [6] PAVELEK, CSC., Doc. Ing. Milan; ŠTĚTINA, Ing. Josef. *Experimentální metody v technickém prostředí*. VUT v Brně : VUT Brno, 2007. 213 s. ISBN 978-80-214-3426-4.
- [7] PŘÍKRYL, Zdeněk, MUSÍLKOVÁ, Rosa. *Teorie obrábění*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1970. 227 s.
- [8] Schauer, CSc., Doc. RNDr. Pavel. *Termika a záření*. VUT v Brně: VUT Brno, 1997. 107 s. ISBN 80-214-0978-9.
- [9] KREIDL, CSC., Doc. Ing. Marcel. *Měření teploty : Senzory a měřicí obvody*. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [10] *Bezdotykové měření teploty*. [online]
URL: <http://www.newport.cz/techinfo/PDF/techinfo_1.pdf> [citováno 20. března 2013].
- [11] BB-4A Černé těleso pro vysoké teploty. *Omegaeng*[online]. 2011 [cit. 2013-0403]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=BB-4A>
- [12] Zaměření objektu. *QTEST* [online]. 2009 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykovmereniteploty.Htm>
- [13] VSCHT [online]. 2013 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpbt/laboratore/Bezdotykove_teplomery.pdf
- [14] Infraredpyrometerformolten metals: CellaTemp PA PA43. *Direct industry*[online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/keller-msr/infrared-temperature-solutions/infrared-pyrometers-for-molten-metals-14914-581488.html>

- [15] Základy pyrometrie [online]. © 2002 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://pyrometrie.sweb.cz/Pompyr.htm>
- [16] *Pyrometrické měření teploty* [online]. 2006 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/pmt.htm>
- [17] *Ing.Luděk Kohout* [online]. © 2008 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.edumat.cz/texty/teplota.pdf>
- [18] VARGOVÁ, Helena. Princípy snímačů teploty a možnosti ich aplikácie v textíle. In: *Měření teploty, principy, aplikace v textilu* [online]. 2000 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/ste.html>
- [19] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie I*. Vyd.5., V Akademickém nakl. CERM vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM,2009, 183 s. ISBN 978-80-214-4010-4.
- [20] Řezná keramika a kubický nitrid boru. MM Průmyslové spektrum. 9/2003. s.42.[online]. [cit. 4. únor 2013]. Dostupný z WWW: (<http://www.mmspektrum.com/clanek/reznakeramikaakubickyinitridboru>)
- [21] HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha, MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 9788025422502.
- [22] FRIEDRICH, K.M., GRUSS, W. W. Aluminium Oxide/TitaiumCarbideCompositeCuttingTools, William Andrew publishing/Notes, 1994. Electronic ISBN 978-0-8155-1631-6.
- [23] NTK CuttingTools, NGK SparkPlug, Japonsko, 2007-2008. Dostupné na WorldWide web: http://www.ngk.de/ntk/de/cutting_tools_catalog_en.pdf
- [24] *Secotools* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Slovakia/Aktuality/Patrick%20De%20Vos%20-%20cyklus/5/Seco_05.pdf
- [25] *AHLBORN* [online]. © 1998 - 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.ahlborn.com/getfile.php?1502.pdf>
- [26] KRATOCHVÍL, Jiří. *Metodika sledování opotřebení keramických nástrojů pomocí odporových vrstev během řezu*. Ostrava, 2010. 118 s. Dizertační práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [27] Tumlikovo: Metal Cutting Technologies. In: [online]. 2010 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/konstrukcni-oceli/oceli-tridy-17/>

Seznam příloh

Příloha č.1 – VBD všechny použité hrany, naměřené hodnoty a grafy

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat především mému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za vedení při vypracování bakalářské práce, vedení během samostatného měření a cenné připomínky a rady, které zvýšily úroveň celé práce.

Poděkování také patří nejbližším v rodině, kteří mě podporovali nejen v psaní bakalářské práce, ale hlavně v celém studiu.

V Ostravě dne: 20.5. 2013

Martin Bilík